



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA  
CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO  
AMBIENTE**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO GEÓGRAFO Y DEL MEDIO AMBIENTE**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA  
LA GESTIÓN DE RIESGOS NATURALES MEDIANTE LA APLICACIÓN  
DE HERRAMIENTAS DE ADMINISTRACIÓN TERRITORIAL EN EL  
VALLE DE LOS CHILLOS.**

**AUTOR: USHIÑA HUERA, DENNIS PAÚL**

**DIRECTOR: ING. SALAZAR MARTÍNEZ, RODOLFO JAIME  
FERNANDO PhD (c)**

**SANGOLQUÍ**

**2019**

## CERTIFICADO DEL DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

### CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA LA GESTIÓN DE RIESGOS NATURALES MEDIANTE LA APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE ADMINISTRACIÓN TERRITORIAL EN EL VALLE DE LOS CHILLOS**” fue realizado por el señor **Ushiña Huera Dennis Paúl** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 06 de mayo del 2019



Phd (c) Rodolfo Salazar M.  
C.I.: 1705683082

## AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

### AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, *Ushiña Huera Dennis Paúl*, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: ***"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA LA GESTIÓN DE RIESGOS NATURALES MEDIANTE LA APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE ADMINISTRACIÓN TERRITORIAL EN EL VALLE DE LOS CHILLOS"*** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 06 de mayo del 2019

Una firma manuscrita en tinta azul que dice 'Dennis Ushiña'.

.....  
Dennis Paúl Ushiña Huera

C.I.: 1725066953

**AUTORIZACIÓN****DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN****CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE****AUTORIZACIÓN**

Yo, **Ushiña Huera Dennis Paúl**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA LA GESTIÓN DE RIESGOS NATURALES MEDIANTE LA APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE ADMINISTRACIÓN TERRITORIAL EN EL VALLE DE LOS CHILLOS”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 06 de mayo del 2019

**Dennis Paúl Ushiña Huera**

C.I.: 1725066953

## DEDICATORIA

*Tan importante como las metas que nos proponemos, es el camino que seguimos para alcanzarlas, este nos forja el carácter y nos da la dicha de encontrarnos con personas valiosas que se preocupan sincera y desinteresadamente por quienes somos, como nos sentimos y nos brindan ese pequeño empujón en los momentos más difíciles.*

*Dedico esta tesis a mis padres, Orfa Huera y Rodrigo Ushiña, por ser quienes siempre confiaron incondicionalmente en mí y me brindaron su apoyo para alcanzar lo que me había propuesto; de igual manera a mis hermanos Irvin y Stephanie.*

*A mis profesores que me ayudaron a formarme como profesional y a ser una mejor persona. Y a todos mis compañeros con quienes tuve la dicha de encontrarme en este camino llamado universidad y a quienes ahora puedo llamar amigos.*

***Dennis***

## AGRADECIMIENTO

La presente tesis es el resultado de un trabajo lleno de esfuerzo, responsabilidad y compromiso que pudo ser concluido satisfactoriamente gracias al apoyo y orientación del PhD(c) Rodolfo Salazar, quien, con sus conocimientos, ideas y sobre todo paciencia ha logrado guiarme y motivarme desde el momento en que fue planteado este proyecto hasta su culminación.

Especial agradecimiento a quienes conforman la Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente de la UFA-ESPE, la Dirección de Catastro del Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Rumiñahui y la Dirección Metropolitana de Catastro del Gobierno Autónomo Descentralizado del Distrito Metropolitano de Quito por la apertura e información proporcionada para el desarrollo de la investigación.

De igual manera agradezco a mis profesores Dr. Theofilos Toulkeridis y Dr. Oswaldo Padilla por la información proporcionada, así como la ayuda prestada para resolver las diferentes dudas que surgieron a lo largo de la elaboración del presente trabajo.

Por último, pero no menos importante agradezco a mis amigos y compañeros, y a todos aquellos quienes de una u otra forma aportaron en el desarrollo de mi trabajo de titulación.

Y desde luego a mi querida familia que siempre estuvo brindándome su apoyo.

A todos, gracias totales.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO DEL DIRECTOR.....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
CAPITULO I.....	1
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Planteamiento del Problema.....	2
1.3. Justificación e Importancia.....	3
1.4. Área de Influencia.....	5
1.5. Objetivos.....	6
1.5.1. Objetivo General.....	6
1.5.2. Objetivos Específicos.....	6
1.6. Metas.....	7
CAPITULO II.....	8

2. MARCO TEÓRICO .....	8
2.1. Administración Territorial.....	8
2.1.1. Definición .....	8
2.1.2. Sistema de Administración Territorial (SAT).....	8
2.1.3. ISO 19152:2012 Land Administration Domain Model.....	10
2.1.4. Catastro.....	12
2.1.5. Social Tenure Domain Model (STDM).....	12
2.2. Gestión de Riesgos .....	13
2.2.1. Definición .....	13
2.2.2. AS/NZS ISO 31000:2009 Risk Management-Principles and guidelines .....	13
2.2.3. Modelo de Gestión del Riesgo del Territorio “Land Risk Management Model” .....	14
2.2.4. Enfoque de Planificación Basada en el Riesgo “Risk-Based Planning Approach” .....	15
CAPITULO III .....	17
3. DISEÑO DE LA METODOLOGÍA .....	17
3.1. Análisis del Sistema de Administración Territorial (SAT) .....	18
3.1.1. Manejo del Catastro en el GAD Municipal de Rumiñahui (GADMUR).....	20
3.1.2. Manejo del catastro en el GAD Distrito Metropolitano de Quito .....	22
3.1.3. Evaluación de la información catastral.....	24
3.2. Análisis de la Gestión de Riesgos .....	26
3.2.1. Información territorial que aporta a la gestión de riesgos. ....	28
3.3. Metodología para la gestión de riesgos en el territorio. ....	30
3.3.1. Establecimiento del contexto.....	31

3.3.2. Proceso de gestión del riesgo en el territorio.....	33
3.3.2.1. Proceso de gestión del riesgo .....	34
3.3.3. Planificación basada en el riego .....	40
3.3.4. Monitoreo y Evaluación .....	41
3.3.5. Comunicación y Consulta.....	42
CAPITULO IV .....	43
4. IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA .....	43
4.1. Contextualización .....	44
4.2. Proceso de gestión del riesgo en el territorio.....	46
4.2.1. Identificación.....	46
4.2.2. Análisis del riesgo del lahar .....	48
4.2.2.1. Consecuencias del lahar .....	49
➤ Construcciones de Servicio Social/Cultural e Instalaciones Críticas.....	49
➤ Seguridad y Salud.....	51
➤ Económico.....	55
➤ Servicios Vitales.....	57
4.2.2.2. Análisis de las consecuencias del lahar .....	68
4.2.2.3. Probabilidad de ocurrencia .....	71
4.2.3. Evaluación del riesgo desde el ámbito territorial .....	72
4.3. Recomendaciones de planificación territorial .....	73
CAPITULO V .....	79
5. INTEGRACIÓN DE LA GESTIÓN DE RIESGOS EN EL CATASTRO.....	79

5.1. Esquema del sistema catastral de riesgos .....	80
5.2. Montaje del sistema catastral de riesgos .....	81
CAPITULO VI .....	87
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	87
6.1. Conclusiones.....	87
6.2. Recomendaciones .....	92
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	94

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i><b>Figura 1</b></i> Área de implementación en el valle de Los Chillos .....	6
<i><b>Figura 2</b></i> Modelo conceptual de la gestión territorial .....	9
<i><b>Figura 3</b></i> Clases básicas del LADM.....	12
<i><b>Figura 4</b></i> Modelo de gestión de riesgo del territorio .....	15
<i><b>Figura 5</b></i> Proceso del Enfoque de planificación basada en el riesgo .....	16
<i><b>Figura 6</b></i> Proceso seguido en el diseño de la metodología.....	18
<i><b>Figura 7</b></i> Principales elementos de un sistema de administración territorial .....	19
<i><b>Figura 8</b></i> Importancia del castro en la administración territorial .....	20
<i><b>Figura 9</b></i> COEs de acuerdo al ámbito territorial .....	27
<i><b>Figura 10</b></i> Modelo conceptual, metodología para la gestión de riesgos en el territorio .....	30
<i><b>Figura 11</b></i> Relación proceso AS/NZS ISO 31000:2009 y metodología propuesta .....	31
<i><b>Figura 12</b></i> Elementos que permiten establecer el contexto .....	32
<i><b>Figura 13</b></i> Proceso de gestión del riesgo en el territorio .....	33
<i><b>Figura 14</b></i> Pasos que conforman el proceso de gestión del riesgo .....	34
<i><b>Figura 15</b></i> Cuantificación de consecuencias y probabilidad .....	38
<i><b>Figura 16</b></i> Codificación de colores para los niveles de riesgo .....	39
<i><b>Figura 17</b></i> Flujograma del proceso para el tratamiento del riesgo .....	41
<i><b>Figura 18</b></i> Flujograma del proceso aplicado en la implementación de la metodología .....	43
<i><b>Figura 19</b></i> Área de estudio, localizada entre los cantones Quito y Rumiñahui.....	45
<i><b>Figura 20</b></i> Lahar, área de impacto y zonificaciones para la valoración de riesgos .....	47
<i><b>Figura 21</b></i> Plano de predios y construcciones dentro del área de afectación .....	50

<b>Figura 22</b> Mapa de densidad poblacional por manzana censal .....	52
<b>Figura 23</b> Zonas hídricas de distribución de agua en el DMQ.....	58
<b>Figura 24</b> Obras de mitigación, pasos elevados y bombas.....	59
<b>Figura 25</b> Elementos del sistema eléctrico de la EEQ.....	63
<b>Figura 26</b> Afectación del lahar en las áreas urbanas del GADMUR y DMQ .....	67
<b>Figura 27</b> Probabilidad de ocurrencia para una erupción del volcán Cotopaxi.....	71
<b>Figura 28</b> Evaluación del riesgo desde el ámbito territorial para el lahar .....	72
<b>Figura 29</b> Comparación de las consecuencias en las zonas de valoración.....	74
<b>Figura 30</b> Áreas de aplicación delimitadas a nivel predial.....	76
<b>Figura 31</b> Asignación de los niveles de riesgo a los predios.....	77
<b>Figura 32</b> Comparación de las consecuencias a nivel cantonal.....	78
<b>Figura 33</b> Derechos, restricciones y responsabilidades ligados a la gestión de riesgos .....	81
<b>Figura 34</b> Ingreso al espacio de trabajo del STDm.....	83
<b>Figura 35</b> Configuración de las columnas que contendrá cada entidad. ....	84
<b>Figura 36</b> Esquema del perfil del catastro, muestra las entidades y su relación. ....	84
<b>Figura 37</b> Espacio de trabajo para el diseño de documentos.....	85

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Codificación de las claves catastrales urbana y rural del GADMUR</i> .....	21
<b>Tabla 2</b> <i>Información contenida en la ficha catastral del GADMUR</i> .....	21
<b>Tabla 3</b> <i>Codificación de la clave catastral del DMQ</i> .....	22
<b>Tabla 4</b> <i>Información contenida en la ficha catastral del DMQ</i> .....	24
<b>Tabla 5</b> <i>Comparativa de los catastros del DMQ y GADMUR con la norma del MIDUVI</i> .....	25
<b>Tabla 6</b> <i>Organizaciones encargadas de la gestión de riesgos</i> .....	26
<b>Tabla 7</b> <i>Información que aporta a la gestión de riesgos</i> .....	29
<b>Tabla 8</b> <i>Tabla multi-peligros para la determinación de consecuencias</i> .....	36
<b>Tabla 9</b> <i>Escala de probabilidad de ocurrencia</i> .....	38
<b>Tabla 10</b> <i>Asignación de niveles de riesgo</i> .....	39
<b>Tabla 11</b> <i>Estados de consentimiento</i> .....	40
<b>Tabla 12</b> <i>Asunciones, limitaciones e incertidumbres de la aplicación del proceso</i> .....	48
<b>Tabla 13</b> <i>Construcciones totales y construcciones funcionalmente comprometidas (CFC)</i> .....	51
<b>Tabla 14</b> <i>Preparación de la población ante amenaza de lahar</i> .....	54
<b>Tabla 15</b> <i>Estimación de muertes (EM)</i> .....	55
<b>Tabla 16</b> <i>Estimación costo económico por muerte (ECM)</i> .....	56
<b>Tabla 17</b> <i>Costo económico comprometido (VABk)</i> .....	56
<b>Tabla 18</b> <i>Zonas hídricas y líneas de captación afectadas por el lahar</i> .....	59
<b>Tabla 19</b> <i>Aporte en caudal de las fuentes de agua del DMQ</i> .....	60
<b>Tabla 20</b> <i>Vertientes que alimentan al GADMUR con vulnerabilidad media</i> .....	61
<b>Tabla 21</b> <i>Tiempos de recuperación en caso de afectación al sistema eléctrico</i> .....	65

<b>Tabla 22</b> <i>Evaluación de afectación y tiempos de recuperación para infraestructura vial</i> .....	66
<b>Tabla 23</b> <i>Estimación de la población afectada en las zonas urbanas</i> .....	68
<b>Tabla 24</b> <i>Establecimiento de consecuencias por el lahar</i> .....	68
<b>Tabla 25</b> <i>Severidad del impacto por el lahar en las zonas de valoración</i> .....	69
<b>Tabla 26</b> <i>Establecimiento de consecuencias por el lahar en la población urbana</i> .....	70
<b>Tabla 27</b> <i>Severidad del impacto por el lahar en la población urbana</i> .....	70
<b>Tabla 28</b> <i>Acciones específicas para las zonas de valoración y su área de aplicación</i> .....	75
<b>Tabla 29</b> <i>Tabulación de las respuestas dadas por los encuestados</i> .....	79
<b>Tabla 30</b> <i>Detalle de la información incluida en la ficha catastral</i> .....	82

## RESUMEN

El aumento en la frecuencia y magnitud de desastres naturales debido a factores antrópicos, ha generado afectaciones económicas y de salud y seguridad, una de las soluciones más efectivas para tratar los riesgos asociados a estos eventos es la prevención a través de la planificación territorial, donde la administración territorial provee de información y herramientas como las infraestructuras de administración territorial y los marcos legales y políticos. El objetivo del presente proyecto fue diseñar una metodología para la gestión de riesgos naturales mediante la aplicación de herramientas de administración territorial e implementarla en parte de las posibles áreas afectadas por un eventual lahar del volcán Cotopaxi en el valle de Los Chillos. La generación de la metodología toma como base el proceso dado en la AS/NZS ISO 31000:2009, además, de un análisis de la realidad local, con lo que se obtuvo una metodología aplicable en el Ecuador, de su implementación resultó una completa valoración del riesgo para el área de estudio y una serie de recomendaciones de planificación territorial para tratar el riesgo, además, se generó un sistema catastral de riesgos en el cual se aplicó el modelo LADM descrito en la ISO 19152:2009; el sistema catastral de riesgos implementado mediante el software STDM, permite gestionar la información territorial y de riesgos, y generar informes de cada predio ubicado en la zona de estudio.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **GESTIÓN DE RIESGOS**
- **CATASTRO**
- **ADMINISTRACIÓN TERRITORIAL**
- **DESASTRE NATURAL**

## **ABSTRACT**

The increase in the frequency and magnitude of natural disasters due to anthropic factors, has generated economic and health and safety effects, one of the most effective solutions to address the risks associated with these events is prevention through land planning, where land administration provides information and tools such as land administration infrastructures and legal and political frameworks. The objective of the present project was to design a methodology for the management of natural risks through the application of land administration tools and to implement it in part of the possible areas affected by an eventual lahar of the Cotopaxi volcano in Los Chillos valley. The generation of the methodology takes as a basis the process given in the AS / NZS ISO 31000: 2009, in addition to an analysis of the local reality, with which a methodology applicable in Ecuador was obtained, from its implementation it was a complete evaluation of risk for the study area and a series of land planning recommendations to address the risk, in addition, a cadastral risk system was created in which the LADM model described in ISO 19152: 2009 was applied; the cadastral risk system implemented through the STDM software, allows the management of land and risk information, and generates reports of each property located in the study area.

### **KEY WORDS:**

- **RISK MANAGEMENT**
- **CADASTER**
- **LAND ADMINISTRATION**
- **NATURAL DISASTER**

## CAPITULO I

### 1. GENERALIDADES

#### 1.1. Antecedentes

El mundo ha evidenciado en las últimas décadas un aumento en la frecuencia y gravedad de desastres naturales como terremotos, inundaciones, sequías, huracanes, derrumbes y tsunamis, que se han visto agravados por la intensificación de las actividades agrícolas, el crecimiento de la población, la presión sobre los recursos naturales y el cambio climático; todos estos factores ocasionan un sin número de pérdidas por los efectos devastadores que provocan sobre el territorio y la propiedad tanto pública como privada. Acorde a la base de datos EM-DAT (Emergency Events Database) del Centro de Investigación sobre Epidemiología de los Desastres (CRED) el número de muertos por desastres ha aumentado de forma constante desde el inicio de los registros de la base de datos en el año 1900 (IPCC, 2014; Baas et al., 2008; Mitchell, 2011). El uso del suelo y su ocupación son el reflejo del modelo de desarrollo que ha prevalecido en un país o región y por consiguiente los riesgos ante desastres resultan de la acumulación de deficiencias históricas en la planificación y desarrollo de dichos territorios (Correa, Ramírez y Sanahuja, 2011).

Varios estudios y experiencias han demostrado que una tenencia legítima de la tierra y el conocimiento de los peligros naturales a los que está expuesta, motiva y permite a las personas que poseen dichos derechos de propiedad, llevar a cabo acciones de prevención y mitigación ante desastres (Mitchell, Myers y Grant, 2014; Mitchell, 2011). Trabajos como “Innovative land use planning for natural Hazard risk reduction: A consequence-driven approach from New Zealand” de Saunders y Kilvington (2016) y “Using land administration for land risk management” de Potts (2013) incorporan al riesgo como factor importante dentro de la planificación territorial, lo cual

permite realizar una mejor toma de decisiones y generar e implementar prácticas y estrategias efectivas para alcanzar el desarrollo de comunidades resilientes.

En el contexto latinoamericano debido a la vulnerabilidad de la región frente a la ocurrencia de desastres naturales, organismos como la CAN (Comunidad Andina de Naciones) o Cooperación Alemana han dado elementos básicos sobre amenaza, vulnerabilidad y riesgo y su relación con el territorio en busca de facilitar la articulación del ordenamiento territorial y la gestión de riesgos de desastres (Vargas y Ramírez, 2009; Rojas, 2013). Sin embargo, pese a iniciativas puntuales a nivel regional y local, aún no se cuentan con verdaderos procedimientos y metodologías que permitan alcanzar una planificación territorial capaz de afrontar los riesgos, producto de los desastres naturales.

## **1.2. Planteamiento del Problema**

Las pérdidas económicas y de vidas humanas generadas a partir de desastres naturales han aumentado con el paso del tiempo y se han expandido geográficamente, aun cuando los problemas referentes a riesgos naturales pueden ser identificados con cierta facilidad y existen medidas de mitigación cuyos beneficios al reducir la vulnerabilidad son ampliamente mayores frente a los costos de no hacerlo. En América Latina y el Caribe, 90% de los fondos internacionales destinados al manejo de amenazas naturales son usados en actividades de preparación, auxilio, rehabilitación y reconstrucción mientras solo un 10% se destina a la prevención, pese a conocerse que el método más efectivo para reducir el impacto negativo de estos eventos naturales es incorporar la evaluación y mitigación de amenazas naturales dentro de los procesos de planificación y desarrollo territorial (UNISDR AM, 2016; OEA, 1991; Mitchell, Myers, & Grant, 2014).

El uso de información acerca del manejo de tierras y propiedades mejora las operaciones de emergencia; además, al ser incorporada en el proceso de gestión del riesgo permite a los ‘stakeholders’ identificar, analizar, evaluar y seleccionar los tratamientos más apropiados para el riesgo, sin embargo, el uso de información y herramientas de administración territorial continúa limitado a sus usos históricos como es el cobro de impuestos (Potts, 2013).

En respuesta al creciente número de desastres y situaciones de riesgo debido a eventos de origen natural, el desarrollo del presente proyecto aportará a mejorar las prácticas en la gestión de riesgos mediante el uso de información y herramientas manejadas por los sistemas de administración territorial, que son infraestructuras compuestas por diversas instituciones, marcos legales, información territorial y componentes técnicos que posibilitan la implementación de políticas y estrategias territoriales. Poseen el gran potencial de facilitar la gestión de múltiples riesgos, con esta finalidad se plantea diseñar e implementar una metodología que permita realizar una gestión de riesgos efectiva desde el ámbito territorial, en aras de alcanzar un desarrollo sostenible, especialmente en países como el Ecuador donde los sistemas de administración territorial aún no han sido aprovechados en su verdadero potencial.

### **1.3. Justificación e Importancia**

La Constitución de la República del Ecuador del 2008, establece que las estrategias del desarrollo nacional deben estar enmarcadas dentro de la gestión de riesgos y a su vez designa a los entes responsables de llevar a cabo la gestión de riesgos, como lo dictan el Art 389: “El Estado protegerá a las personas, las colectividades y la naturaleza frente a los efectos negativos de los desastres de origen natural y antrópico mediante la prevención ante el riesgo, la mitigación de

desastres,... con el objetivo de minimizar la condición de vulnerabilidad” y el Art 390: “Los riesgos se gestionarán bajo el principio de descentralización subsidiaria, que implicará la responsabilidad directa de las instituciones dentro de su ámbito geográfico...”.

El Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 “Toda una Vida” dentro de su Estrategia Territorial Nacional establece como una de las directrices y lineamientos territoriales a la “Gestión del hábitat para la sustentabilidad ambiental y la gestión integral de riesgos” que en sus lineamientos b.10., b.14. y b.15. expone como finalidad construir ciudades verdes y resilientes a través de promover buenas prácticas ambientales y el diseño urbanístico como medidas de adaptación y mitigación ante los efectos negativos del cambio climático y de amenazas de origen natural según el tipo y nivel de riesgo (SENPLADES, 2017). Lo que a su vez se encuentra articulado con el Objetivo 11 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) aprobados en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, “Ciudades y Comunidades Sostenibles” (ONU, 2015). A partir de lo establecido en los ODS también nace “El Marco de Sendai” para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, y al cual se encuentra adscrito el Ecuador, el Marco de Sendai establece como prioridades: la comprensión del desastre, fortalecer la gobernanza del riesgo para gestionar el riesgo de desastres, invertir en la reducción de desastres para la resiliencia y mejorar la preparación ante desastres para una respuesta eficaz y un reconstruir mejor (recuperación, rehabilitación y reconstrucción) (UNISDR, 2017).

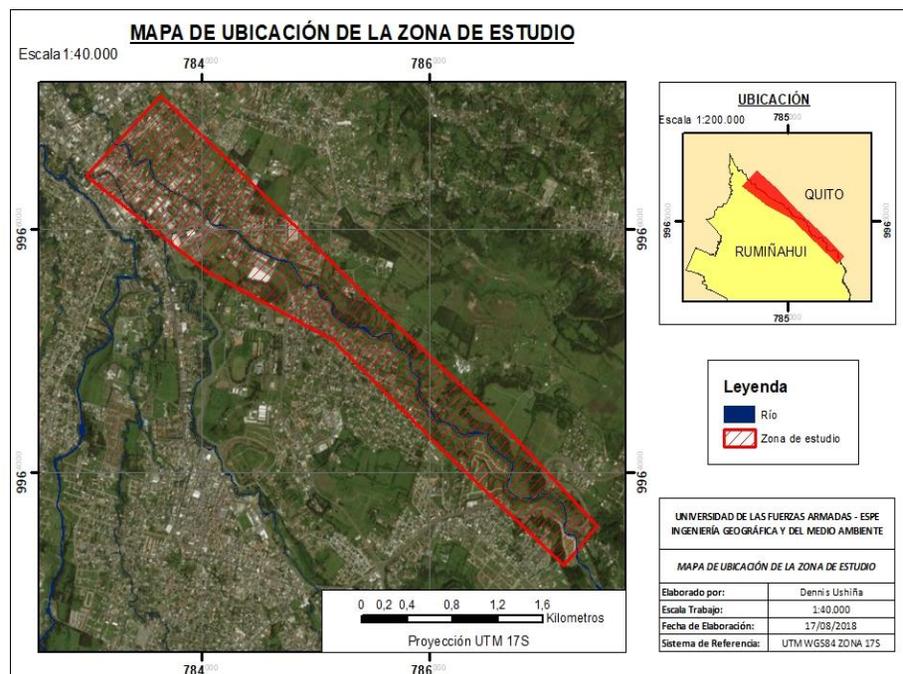
A nivel del Ecuador, eventos como la alerta por erupción del volcán Tungurahua en 2006, las precipitaciones invernales de 2008 que equivalieron a un 30% superior de las lluvias normales y el terremoto de Pedernales del 16 de Abril de 2016, dejaron un gran número de damnificados, pérdidas de vidas humanas y económicas, además, pusieron a prueba la capacidad de respuesta de

las instituciones responsables de la gestión de riesgos y dejaron en evidencia problemas como la falta de información, existencia de problemas logísticos, poca previsión en inversiones públicas y privadas realizadas sin ningún enfoque de riesgos, lo que ocasionó la multiplicación de estragos y el colapso de la capacidad de respuesta (Rebotier, 2016). De igual forma, la actividad eruptiva de los últimos años del volcán Cotopaxi ha accionado las alertas por las grandes áreas pobladas que se verían afectadas y ha volcado la atención sobre la necesidad de procesos que permitan mejorar la gestión de riesgos en el ámbito local.

Este proyecto da un primer paso para el uso de información y aplicación de herramientas utilizadas por los sistemas de administración territorial en el proceso de gestión de riesgos, lo cual se traduce en una planificación territorial más eficiente al considerar dentro de la misma, acciones que ayuden a reducir el riesgo por peligros de origen natural, así como permitir la difusión de la información disponible a todos los stakeholders que requieren de ella.

#### **1.4. Área de Influencia**

El área de influencia para la aplicación piloto de la metodología, comprende las riberas y áreas aledañas al cauce del río Pita que se verían afectadas por flujos de lodo mejor conocidos como “lahares”, producto del derretimiento del glacial del volcán Cotopaxi durante una erupción; se mueven a grandes velocidades por las vertientes que nacen en el volcán, una de éstas es la del río Pita. El área de estudio se delimitará dentro del tramo urbano del río, comprendido entre los sectores de Selva Alegre y San Rafael, en el valle de “Los Chillos”, en la provincia de Pichincha a 25 km Sur-Oeste de la ciudad de Quito, Ver Figura 1.



*Figura 1.* Área de implementación en el valle de Los Chillos

## 1.5. Objetivos

### 1.5.1. Objetivo General

“Diseñar la metodología para la gestión de riesgos mediante la aplicación de herramientas de administración territorial que permitan la identificación y reducción de daños y pérdidas ocasionados por eventos naturales a nivel predial, en el valle de Los Chillos.”

### 1.5.2. Objetivos Específicos

- Elaborar la metodología para la identificación de daños y pérdidas, y reducción de riesgos a nivel predial, a través de la aplicación del modelo LADM y el proceso de gestión de riesgos dado en la AS/NZS ISO 31000:2009.

- Generar la información geoespacial requerida para la gestión de riesgos en el área de estudio correspondiente a cartografía base e infraestructura afectada por un eventual lahar del volcán Cotopaxi transportado por el río Pita.
- Implementar de forma piloto la metodología para el área de estudio a través del software STDM (Social Tenure Domain Model).

### **1.6. Metas**

- Una metodología para la gestión de riesgos naturales a los cuales están expuestos el territorio y la propiedad.
- Un plano escala 1:1000 del área de estudio que muestra los predios e infraestructura afectados por el lahar transportado por el río Pita debido a una eventual erupción del volcán Cotopaxi.
- Una geodatabase a nivel predial con la información geoespacial y de riesgos recopilada y elaborada durante el proyecto.

## **CAPITULO II**

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Administración Territorial**

##### **2.1.1. Definición**

La administración territorial es el proceso por el cual los recursos de la tierra son puestos en provecho. Abarca todas las actividades asociadas con el manejo de la tierra y los recursos naturales para lograr el desarrollo sustentable, teniendo entre sus principales funciones la administración de la tenencia de la tierra, su valoración y uso. Actualmente los sistemas más formales de tenencia de tierras han empezado a manejar el concepto de derechos, restricciones y responsabilidades sobre los predios, basados en políticas del manejo de tierras y marcos legales (Enemark, Williamson, & Wallace, 2005) (Mitchell, Myers, & Grant, 2014). La ISO 19152 LADM, describe a la administración territorial como “el proceso para determinar, registrar y difundir información sobre la relación entre las personas y la tierra” (ISO, 2012).

##### **2.1.2. Sistema de Administración Territorial (SAT)**

Los SAT no abarcan únicamente el manejo de la información espacial, ya que al representar una relación legal entre personas y entre las personas y la tierra, estas infraestructuras permiten la implementación de políticas y estrategias para la gestión territorial con la finalidad de alcanzar el desarrollo sostenible (Potts, 2013), (ISO, 2012). Los sistemas de administración territorial están compuestos por arreglos institucionales, marcos legales, información territorial y componentes técnicos, a través de los cuales son ejercidas las funciones de la administración territorial: tenencia, valoración, uso del territorio y el desarrollo, como muestra el modelo conceptual de la Figura 2.

Las funciones de la administración territorial están principalmente enfocadas a la gestión de los derechos, restricciones y responsabilidades (RRR por sus siglas en inglés) ya que si bien al ser propietario de una porción de terreno se adquieren ciertos derechos, a la par se adquieren ciertas restricciones y responsabilidades que son dadas por la autoridad y se reflejan a través del cobro de impuestos o mediante las zonificaciones de uso del suelo; a éstos se suman los riesgos, así como el uso y manejo de la tierra y sus recursos. Las funciones de la administración territorial están soportadas por las infraestructuras de información territorial y el marco político territorial, que a su vez se enmarcan dentro de un contexto local que varía de un lugar a otro.



**Figura 2.** Modelo conceptual de la gestión territorial  
Fuente: Adaptado de (Enemark, Williamson, & Wallace, 2005)

Una infraestructura de información territorial está conformada por dos elementos que son las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE), que permiten el acceso e interoperabilidad de la información catastral y demás información territorial; mientras en el segundo componente están, por ejemplo, los sistemas más pequeños de información territorial, encargados de organizar la información catastral (sistemas catastrales). El contexto político territorial se encuentra definido

por los objetivos y el marco legal aplicados en la gestión del territorio. El contexto local se refiere a los arreglos institucionales y la estructura de los sistemas de gestión de tierras de cada país, que permite considerar los peligros y riesgos propios de cada territorio, cambiante al igual que la localización geográfica y las condiciones ambientales. Una vez que todos los componentes del modelo de la administración territorial trabajan en conjunto, es posible alcanzar el desarrollo sustentable que incluye la sostenibilidad económica, ambiental y social.

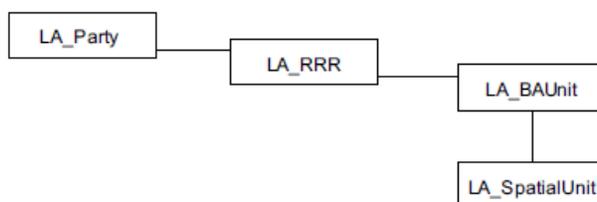
### **2.1.3. ISO 19152:2012 Land Administration Domain Model**

La ISO 19152:2012 es un estándar internacional que define al Modelo Único del Dominio de la Administración de Tierras (LADM por sus siglas en inglés); que es un modelo conceptual que cubre información básica y componentes relacionados a la administración de tierras (ISO, 2012). Este esquema puede ser implementado por organizaciones a nivel nacional, regional o local, lo que permite el intercambio, interoperabilidad y mantenimiento de los conjuntos de datos de un sistema. El modelo está conformado por tres paquetes y un sub paquete, cada uno de los cuales se compone a su vez de un grupo de clases lo que facilita el mantenimiento de los diferentes conjuntos de datos por las diferentes organizaciones, además, existen tres niveles de conformidad o cumplimiento de la norma, en función del número de ítems de cada paquete o sub paquete que han sido puestos en marcha: nivel 1 (bajo), nivel 2 (medio), y nivel 3 (alto). Para establecer los niveles de conformidad se utilizan pruebas de conformidad donde se verifica que las clases (ítems) incluidos en los diferentes niveles cumplan con ciertos indicadores. Los paquetes del LADM son: Interesados, Administrativo, Unidad Espacial y el sub paquete de este último, Representación del Objeto.

- **Interesados:** Corresponde a la parte interesada (pueden ser personas u organizaciones), está orientado a la información del sujeto que posee la tenencia de la propiedad y se amplía a otros sujetos que intervienen en la tenencia legal del bien o alguna relación con él.
- **Administrativo:** Abarca las unidades administrativas básicas, derechos, responsabilidades y restricciones (derechos del propietario). Permite adaptar las posibles condiciones de la relación de derecho y carga administrativa, es decir refleja el derecho privado y público sobre diferentes niveles de representación.
- **Unidad Espacial:** Son los predios y los espacios legales de las construcciones y redes de utilidad. Describe el espacio que ocupa un determinado objeto territorial y las diferentes redes de servicios.
- **Representación del Objeto:** Incluye las fuentes de información espaciales (agrimensura) y las representaciones espaciales (geometría y topología).

Las principales clases para la puesta en marcha de la LADM son cuatro:

- 1) LA\_Party: abarca a las personas y las organizaciones.
- 2) La\_RRR: abarca a las subclases: derechos, restricciones o responsabilidades.
- 3) LA\_BAUnit: abarca las unidades administrativas básicas.
- 4) LA\_SpatialUnit: abarca las unidades espaciales.



**Figura 3.** Clases básicas del LADM  
Fuente: (ISO, 2012)

#### 2.1.4. Catastro

La definición aceptada por la federación internacional de topógrafos menciona “Un catastro es normalmente un sistema de información de tierras basado en parcelas, actualizado y que contiene un registro de intereses de la tierra. El mismo que usualmente incluye una descripción geométrica de las parcelas de terreno enlazadas a otros registros describiendo la naturaleza de los intereses, la propiedad o el control de estos intereses, y usualmente el valor de esta parcela y sus mejoras” (FIT, 1995). El catastro describe la naturaleza de los intereses, la propiedad y control de las parcelas y los intereses, y ayuda en el manejo presente y posible uso futuro de la tierra.

#### 2.1.5. Social Tenure Domain Model (STDM)

El STDM es un sistema de información territorial desarrollado por Global Land Tool Network (GLTN), específicamente dirigido a mejorar la administración y levantamiento de información catastral en poblaciones de escasos recursos. El software está basado en el modelo LADM de la ISO 19152 lo que le permite manejar todo tipo de unidades espaciales y sus correspondientes derechos, restricciones y responsabilidades, convirtiéndolo en una herramienta muy efectiva en la gestión de información territorial. Funciona como un plugin del software Quantum GIS, QGis, con lo que permite utilizar todas las herramientas de este potente software libre; está enlazado a PostGIS

y PostgreSQL para el manejo de la base de datos. El STDM puede ser descargado de forma gratuita e instalado en cualquier computador que cumpla con los requerimiento mínimos, incluso permite la elaboración de fichas catastrales y otros documentos basados en la información catastral (GLTN, 2018).

## **2.2. Gestión de Riesgos**

### **2.2.1. Definición**

La gestión de riesgos es un proceso de planificación estratégica que incluye el conocimiento del contexto, de las amenazas, de las vulnerabilidades y de los riesgos. Esto con la finalidad de cuantificar, ver y decidir las mejores acciones para la prevención, mitigación y reducción de los efectos de la naturaleza y la corresponsabilidad del ser humano. A la gestión de riesgos se la puede clasificar en tres tipos: gestión prospectiva (evitar, prevenir), gestión correctiva (mitigar) y gestión reactiva (enfrentar) (Bernabé, et al., 2015; Rojas, 2013).

### **2.2.2. AS/NZS ISO 31000:2009 Risk Management-Principles and guidelines**

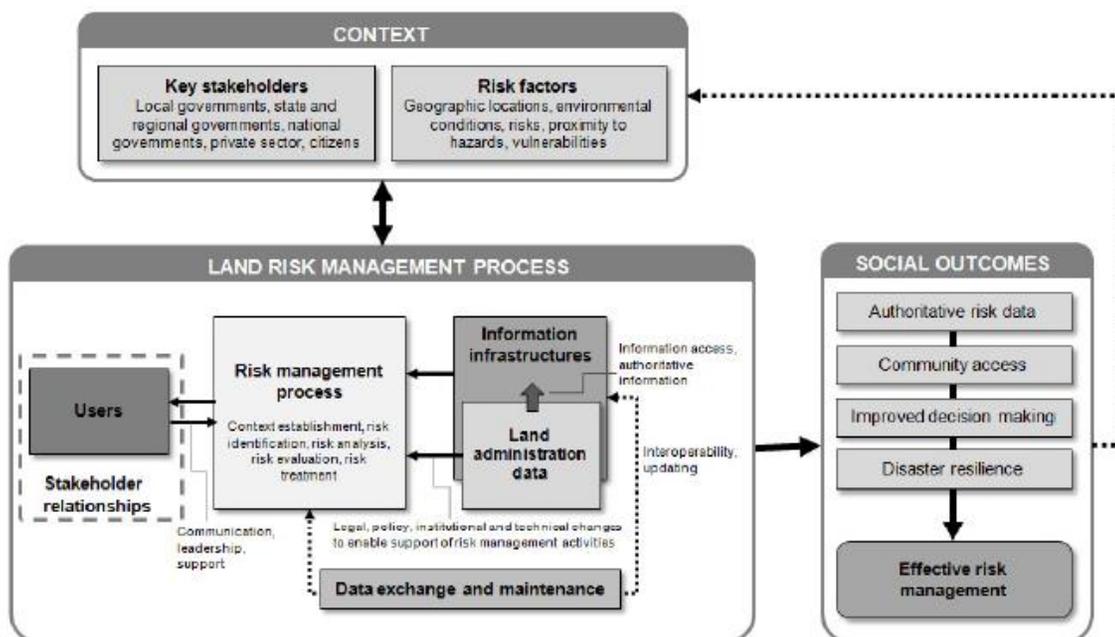
Estándar internacional que provee principios y lineamientos genéricos para la gestión de riesgos, y puede ser aplicado por cualquier tipo de organización ya sea pública, privada o comunitaria sin importar el campo al que se dedique (AS/NZS ISO, 2009). La AS/NZS ISO 31000:2009 consta de tres partes:

- **Principios:** Dicta los principios que debería cumplir una organización en todos sus niveles para una gestión de riesgos efectiva.

- **Marco de referencia:** Proporciona las bases y los acuerdos de los cuales dependerá la gestión de riesgos, permite la aplicación del proceso de gestión de riesgos en todos los niveles de la organización, en base a su contexto específico.
- **Proceso:** Muestra el proceso a seguir para la gestión de riesgos, el cual debería ser una parte integral de la gestión, estar incrustado en la cultura y las prácticas, y adaptado a los procesos de la organización. El proceso de la gestión de riesgo se puede ver en la Figura 5.

### **2.2.3. Modelo de Gestión del Riesgo del Territorio “Land Risk Management Model”**

El modelo desarrollado por Potts (2013), está basado en los requerimientos de los stakeholders a cargo de la gestión de riesgos y de las capacidades de los sistemas de administración territorial de proveer información, especialmente del sistema catastral. Abarca los componentes necesarios para una gestión mejorada y efectiva de los riesgos que afectan a los stakeholders y amenazan la tierra y la propiedad. El modelo se compone de tres elementos principales: el contexto, el proceso de gestión del riesgo del territorio y los resultados sociales, como se observa en la Figura 4.



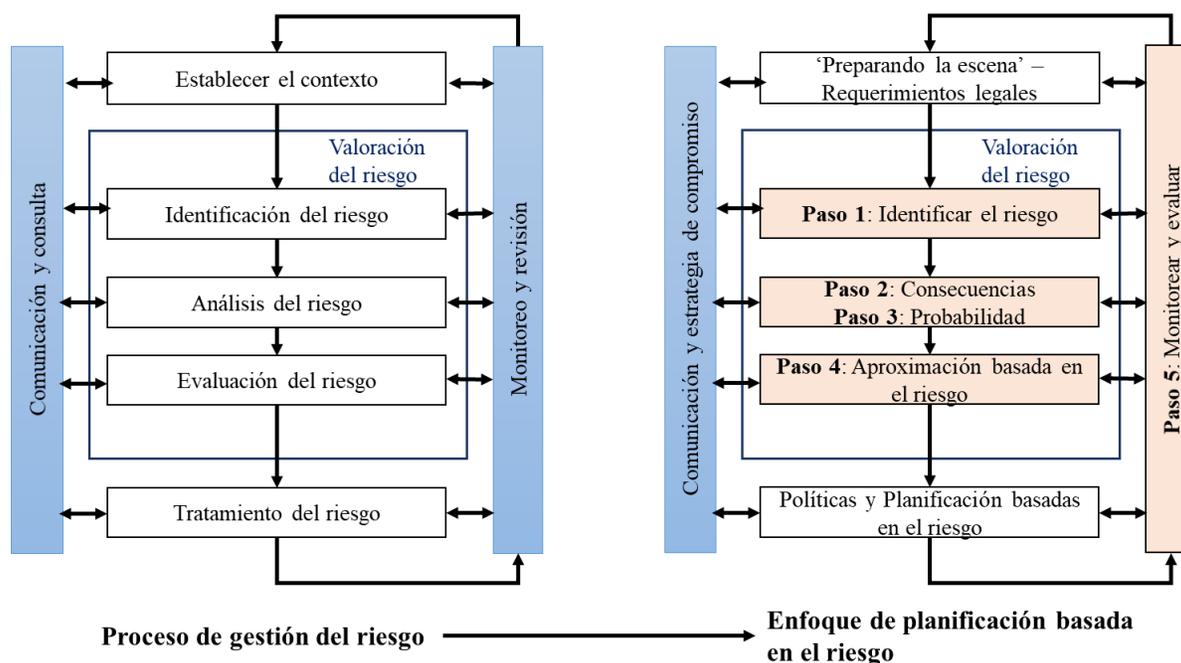
**Figura 4.** Modelo de gestión de riesgo del territorio

Fuente: (Potts, 2013)

#### 2.2.4. Enfoque de Planificación Basada en el Riesgo “Risk-Based Planning Approach”

Esta herramienta tiene por objeto evaluar los efectos que podría ocasionar un evento natural adverso y así garantizar que las consecuencias económicas, ambientales, sociales y culturales por el desarrollo del evento puedan ser exploradas y cuantificadas con la finalidad de facilitar la toma de decisiones respecto a la planificación territorial con un criterio más acertado, ya que de esta forma se pueden determinar y evaluar los riesgos ocasionados por los peligros naturales (Saunders, Beban, & Kilvington, 2013). El enfoque de planificación basado en el riesgo sigue cinco pasos principales para alcanzar una planificación del uso del suelo que tome en cuenta al riesgo. En la Figura 5 se aprecian los cinco pasos y su relación con el proceso de gestión del riesgo dado por la AS/NZS ISO 31000:2009. Esta metodología tiene como principal finalidad generar una planificación territorial que incluya los riesgos ocasionados por los peligros naturales a los que se

encuentra expuesto, con lo cual disminuyen los posibles efectos catastróficos sobre la población y la propiedad.



**Figura 5.** Proceso del Enfoque de planificación basada en el riesgo

Fuente: Adaptado de (Saunders, Beban, & Kilvington, 2013)

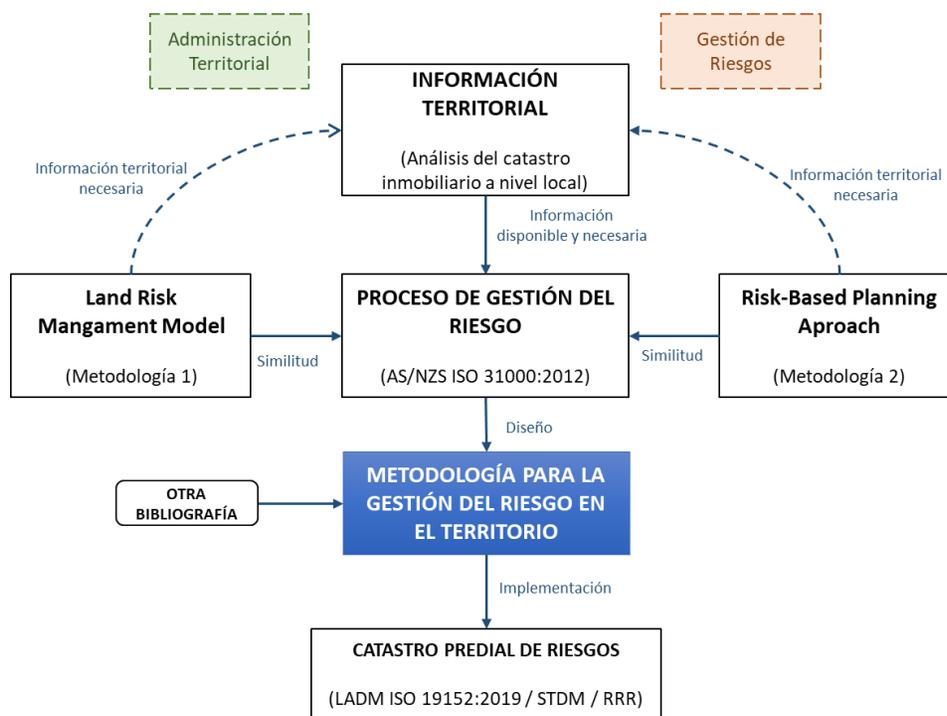
El enfoque de planificación basado en el riesgo se centra principalmente en la valoración del riesgo a través de la identificación del riesgo, la determinación de consecuencias y de la probabilidad de ocurrencia del evento. Con ayuda de estos dos últimos elementos se calcula el nivel de riesgo, que se traduce a un estado de consentimiento en la planificación del territorio. Una vez valorado el riesgo es necesario tomar acciones para su tratamiento a través de la planificación territorial. El monitoreo, evaluación y comunicación se mantienen transversales a todas las etapas del proceso.

## CAPITULO III

### 3. DISEÑO DE LA METODOLOGÍA

Para el diseño de la metodología, el primer paso fue realizar un breve análisis del sistema de administración territorial y del manejo actual de los catastros inmobiliarios del GAD Municipal de Rumiñahui, el GAD Metropolitano de Quito y la norma técnica para catastro inmobiliario dada por el MIDUVI (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda). En cuanto a los métodos para la gestión del riesgo en el territorio “Land Risk Management Model” y “Risk-Based Planning Approach” se evaluó la información territorial que estos requieren y si esta información se encontraba disponible en los catastros inmobiliarios municipales. En la Figura 6 se observa más detalladamente el proceso seguido, a través del cual se interrelaciono los conceptos de administración territorial y de gestión de riesgos.

El diseño de la metodología tiene como base el esquema dado en el proceso de gestión de riesgos dado en la AS/NZS ISO 31000:2009 en conjunto con una adaptación a la realidad local de las similitudes que tenían entre sí las dos metodologías tomadas como referencia y con la AS/NZS ISO 31000. Una vez diseñada la metodología se procedió a implementarla para lo que se definieron derechos, restricciones y responsabilidades acorde a la ISO 19152:2009 y finalmente fue puesta en marcha para el área de estudio con ayuda del software STDM.



**Figura 6.** Proceso seguido en el diseño de la metodología

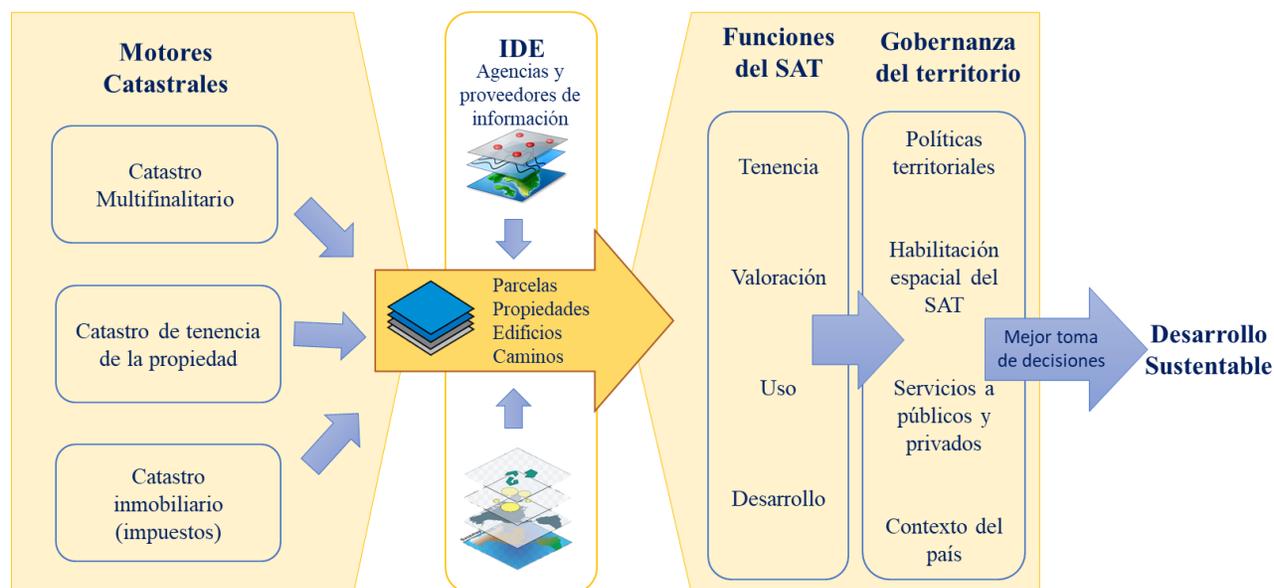
### 3.1. Análisis del Sistema de Administración Territorial (SAT)

Un SAT tiene como principales elementos: el marco legal y normativo, las infraestructuras de información territorial y los datos del territorio, como observamos en la Figura 7. La información que alimenta a un SAT sigue el concepto de una IDE, al integrar diversas bases de datos generadas por distintas organizaciones y que están desarrolladas para servir propósitos específicos. Cada base de datos modela la realidad de forma distinta dependiendo de su propósito, por lo cual es necesario manejar un marco normativo común que permita el intercambio, interoperabilidad y mantenimiento de los conjuntos de datos del sistema.



**Figura 7.** Principales elementos de un sistema de administración territorial

En el centro de todo SAT se encuentra el catastro, generalmente usado como un registro público de cantidad, valor y propiedad de la tierra, y que sirve como base para la tributación. Las alternativas más comunes de catastro son: sistemas centralizados o descentralizados; registro de la tierra en catastros separados o integrados; catastros fiscales o legales; diferentes métodos para la identificación y delimitación de parcelas; sistemas financiados por los gobiernos o autofinanciados (Tjia & Coetzee, 2013). El catastro posee la capacidad de proveer de la infraestructura y soporte para la implementación de políticas territoriales, estrategias para la gestión del territorio, mercados de tierras, garantizar un uso y manejo adecuado del territorio, y en el caso de este trabajo la aplicación de prácticas efectivas relacionadas a la gestión de riesgos en el territorio, para así alcanzar el desarrollo sustentable (Williamson 2002; Nasruddin and Rahman 2006). El diagrama de la Figura 8, muestra la importancia del catastro dentro de la administración territorial.



**Figura 8.** Importancia del catastro en la administración territorial  
Fuente: Adaptado de (Williamson et al 2010)

En el Ecuador, el Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD) confiere a los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs) Municipales y Metropolitanos competencias exclusivas sobre la elaboración y administración de los catastros inmobiliarios urbanos y rurales, lo cual ha provocado que no exista un vocabulario común en términos catastrales y por lo tanto se dificulte el intercambio de información entre los diferentes niveles de organización territorial.

### 3.1.1. Manejo del Catastro en el GAD Municipal de Rumiñahui (GADMUR)

La Dirección de Avalúos y Catastro es la encargada de manejar el catastro municipal. Para esto implementó desde hace unos años un sistema basado en lenguaje SQL (Structured Query Language) para la administración de la base de datos catastral, a la cual se encuentra actualmente migrando la información hasta hace poco guardada en fichas catastrales físicas (papel); por el

momento no se utiliza ningún tipo de SIG (QGis, ArcGis, etc.) como tal. El catastro se encuentra dividido en dos sistemas, el de catastro rural “SiscatRural” y el de catastro urbano “SiscatUrbano”, de igual forma la asignación de claves catastrales en ambos catastros posee una codificación propia con 12 dígitos para el urbano y 9 dígitos para el rural como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Codificación de las claves catastrales urbana y rural del GADMUR*

Clave catastral urbana					Clave catastral rural			
<b>01</b>	01	001	01	000	01	01	01	001
<b>zona</b>	sector	manzana	predio	propiedad horizontal	zona	sector	manzana o polígono	predio

Los objetos catastrales utilizados dentro son: zona, sector, manzana, predio y bloque constructivo. Entre la información registrada en el catastro se tiene:

**Tabla 2**

*Información contenida en la ficha catastral del GADMUR*

Urbano	Rural
✓ Ubicación	✓ Ubicación
✓ Tenencia	✓ Tenencia
✓ Características del terreno, servicios y uso	✓ Infraestructura
✓ características de la construcción	✓ Uso del suelo y tecnificación de la tierra
✓ Mejoras adheridas al predio	✓ Mejoras adheridas al predio
✓ Archivos de respaldo (planos, escrituras, fotografías)	✓ Archivos de respaldo (planos, escrituras, fotografías)
✓ Patrimonio cultural	✓ Zona de riesgo
✓ Zona de riesgo	

Parte de la información catastral se encuentra disponible en el portal web del gobierno municipal a través de un geo visualizador donde se puede hacer ciertas consultas mediante el uso de la clave catastral.

### 3.1.2. Manejo del catastro en el GAD Distrito Metropolitano de Quito

La Dirección Metropolitana de Catastro es la encargada de manejar el catastro en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ). Lo realiza a través de unidades descentralizadas de catastro localizadas en las 9 administraciones zonales en las que está dividido el DMQ, cada una de las cuales recepta los diferentes trámites de su jurisdicción. La administración de los datos catastrales se realiza a través del Sistema Integrado de Registro Catastral de Quito (Sirec – Q) que funciona como un aplicativo web del software ArcGis Server, que permite el acceso a la información geográfica de la base de datos catastral a los diferentes usuarios mediante la red de Internet. La arquitectura del sistema consta básicamente de dos bases de datos, una que maneja la parte alfanumérica (Oracle) y otra la parte gráfica (SQL Server). La clave catastral es única para todos los predios pese a que se encuentran diferenciados el catastro urbano del rural. La codificación de la clave catastral consta de 15 dígitos como se muestra en la Tabla 3, además, se utiliza adicional a la clave catastral una numeración de predios.

**Tabla 3**

*Codificación de la clave catastral del DMQ*

Clave catastral del DMQ					
17	10	40	17	0001	001
provincia	cantón	zona metropolitana	parroquia	manzana	lote

Los principales objetos gráficos utilizados dentro del catastro son:

- unidades constructivas: corresponden a una subdivisión de los bloques constructivos en base al número de pisos o la tipología de la construcción (especialmente los tipos de techos).
- bloques constructivos: es la suma de las áreas cubiertas que conforman una edificación, estos pueden incluir varias unidades constructivas.
- lote o parcela: unidad territorial mínima delimitada por vías y otros lotes
- manzana: porción de terreno urbano delimitado por vías o accidentes naturales tales como ríos, taludes, drenajes, otras manzanas, etc.
- bordes de quebrada: indica donde están ubicadas las quebradas.

Dentro del catastro urbano se diferencian a su vez entre:

- propiedad horizontal: este tipo de propiedad corresponde a conjuntos residenciales, edificios, etc. En estos no existe un gran nivel de detalle gráfico, únicamente se incluye el lote y bloques constructivos, no están representados los predios individuales ni las unidades constructivas.
- uni propiedad: Es el más común, cada lote representa a su vez un único predio, se representan gráficamente los bloques constructivos y las unidades constructivas.

La información contenida en la ficha catastral se muestra en la Tabla 4.

**Tabla 4**  
*Información contenida en la ficha catastral del DMQ*

Urbano	Rural
✓ Ubicación	✓ Ubicación
✓ Tenencia y aspectos legales	✓ Tenencia y aspectos legales
✓ Tipo de tenencia	✓ Tipo de propietario
✓ Características físicas, servicios y dimensiones del terreno	✓ Uso de la tierra
✓ Características de las construcciones	✓ Infraestructura
✓ Área de construcción	✓ Terrenos, características y superficies
✓ Mejoras adheridas al predio	✓ Características de las construcciones
✓ Plano del predio y observaciones	✓ Gráfico del predio
✓ Fotografía de la fachada	✓ Área de construcción
	✓ Mejoras adheridas al predio
	✓ Instalaciones o construcciones agropecuarias y observaciones

### 3.1.3. Evaluación de la información catastral

En ambos casos, el catastro se maneja de forma reactiva, requiere de la presentación de una solicitud (subdivisiones, construcciones, unificaciones, etc.) para iniciar el proceso. Luego de que esta solicitud es aprobada, pasa al área de catastro ya sea para la creación de la clave catastral o la actualización de datos. Parte de la información catastral proviene de otras áreas de los municipios o empresas municipales, sin embargo, casi toda la información es verificada durante las visitas de campo ya que no existe un adecuado intercambio de información entre las diferentes áreas. El MIDUVI en la búsqueda de construir el Sistema Nacional de Catastro emitió la Norma Técnica 029 para el catastro de bienes inmuebles urbanos – rurales y su avalúo, que si bien no es de aplicación obligatoria para los GADs municipales – metropolitanos, da una pauta a los municipios de cómo realizar el catastro. Por esto se ha tomado esta normativa como referencia de lo que se podría encontrar en los diferentes municipios a nivel nacional, en la Tabla 5. Se realiza una comparativa entre la normativa expedida por el MIDUVI y lo aplicado en los catastros municipales del GADMUR y del DMQ. Los parámetros considerados en la comparación corresponden al tipo

de catastro inmobiliario (urbano o rural), la clave catastral, los objetos catastrales básicos y los datos que se incluyen en la ficha catastral.

**Tabla 5**

*Comparativa de los catastros del DMQ y GADMUR con la norma del MIDUVI*

Catastro	Tipo de catastro	Clave catastral (cc)	Objeto Catastral Básico	Datos ficha catastral
MIDUVI		Cc urbana → 24 dígitos; Cc rural → 16 dígitos.	Manzana catastral; polígono catastral; lote; zona, sector; bloque constructivo; piso; predios; borde superior de accidente geográfico asociado a hidrografía.	Ubicación; Identificación legal; Características del terreno; Características de la construcción; Características de la vivienda; Mejoras; Gráfico terreno.
DMQ	Urbano y Rural	Cc única → 15 dígitos.	Unidad constructiva, bloque constructivo, lote, manzana, bordes de quebrada, parroquia, zona.	Ubicación; Tenencia; Características del terreno; Características de la construcción; Foto-gráfico.
GADMUR		Cc urbana → 12 dígitos; Cc rural → 9 dígitos.	Bloque constructivo, predio, manzana, zona, sector.	Ubicación; Tenencia; Características del terreno; Características de la construcción; Archivos de respaldo; Otros (zona de riesgo, patrimonio cultural)

Todos los catastros se encuentran divididos en urbano y rural, la codificación de las claves catastrales no coincide en ninguno de los casos con la del MIDUVI dificultando el enlace de las bases catastrales y el intercambio de información. Los objetos gráficos poseen ciertas similitudes sin embargo son utilizados acorde al contexto de cada municipio lo que implica que no necesariamente representen el mismo objeto en la realidad. La información de la ficha predial es la que mayores similitudes posee y está específicamente dirigida a la valoración y tenencia de los predios; en cada municipio se puede observar un mayor o menor grado de detalle. El GADMUR es el único que incluye datos adicionales a los estrictamente utilizados para el cobro de impuestos como declaración de patrimonio cultural, zona de riesgo o datos socio económicos.

### 3.2. Análisis de la Gestión de Riesgos

La gestión de riesgos es un concepto que se maneja a nivel global desde hace ya mucho tiempo, con lo cual se han generado diversas herramientas que permiten evaluar los riesgos y su adecuada gestión; una de éstas es la AS/NZS ISO 31000:2009 aplicable en múltiples ámbitos (laboral, industrial, ambiental, económico, etc.). En el presente trabajo se pone énfasis en la gestión de riesgos dentro del territorio, específicamente los ocasionados por los peligros naturales. Para lo cual es importante identificar cuáles son los entes encargados de la gestión de riesgos en los diferentes niveles territoriales y cuáles son sus funciones. La FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) en su guía para el análisis de sistemas de gestión de riesgos de desastres, establece las organizaciones responsables de la gestión de riesgos en los diferentes ámbitos territoriales:

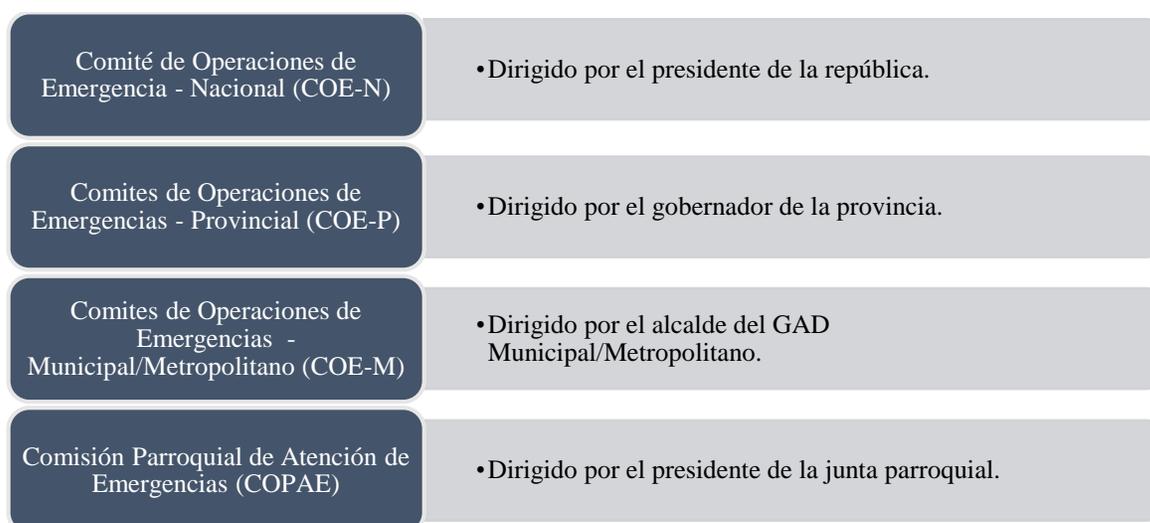
**Tabla 6**

*Organizaciones encargadas de la gestión de riesgos en diferentes niveles territoriales*

<b>Nivel</b>	<b>Actores</b>
Internacional	Agencias internacionales
Nacional	Gobierno nacional
Provincia / Distrito / Municipalidad	Gobierno provincial, distrital, municipal
Comunidad	Agencias técnicas e institutos de investigación, gobiernos locales, comités de emergencia, organizaciones comunitarias.

En el Ecuador, el ente estatal encargado del manejo de la gestión de riesgos es el Servicio de Gestión de Riesgos y Emergencias que tiene como objetivo garantizar la protección de personas y organizaciones de los efectos negativos que puedan causar los potenciales desastres de origen natural o antrópico. Con este motivo fue desarrollado el Sistema Nacional Descentralizado de

Gestión de Riesgos conformado por Comités de Operaciones de Emergencia (COE), cuya responsabilidad es la planificación, coordinación y operación de forma conjunta en los diferentes niveles territoriales de las instituciones involucradas en la respuesta y atención a emergencias. Los COEs clasificados de acuerdo al ámbito territorial nacional, Figura 9, poseen cierta similitud con lo dado por la FAO; los COEs se encuentran encabezados por la máxima autoridad de la jurisdicción territorial y están dirigidos a la coordinación para la atención de emergencias y desastres.



**Figura 9.** COEs de acuerdo al ámbito territorial

Si bien entre las principales funciones de los COEs están la planificación estratégica, coordinación política; de sectores humanitarios, seguimiento y control de operaciones de respuesta e información pública, son conformados principalmente como medida de respuesta a eventos que podrían resultar en afectaciones a la seguridad ciudadana. De forma más permanente deben existir Unidades de Gestión de Riesgos propias de los GADs ya que a través del COOTAD se establece como una de las funciones de los GADs municipales y metropolitanos la gestión de riesgos, que debe incluir las acciones de prevención, reacción, mitigación, reconstrucción y transferencia para

enfrentar todas las amenazas de origen natural o antrópico que afecten su ámbito territorial. Los principales roles y funciones que deben tener los gobiernos municipales - metropolitanos con base a los parámetros dados por la FAO y lo establecido dentro del COOTAD son:

- ✓ Generar reglamentación local referente a la gestión de riesgos e incentivar el desarrollo de tecnologías para la reducción de riesgos.
- ✓ Promover la aproximación multisectorial para la gestión de riesgos.
- ✓ Proveer información que aporte al plan nacional de reducción de desastres.
- ✓ Coordinar y mediar acciones entre los niveles nacional y local.
- ✓ Implementar programas de recuperación y protección de la infraestructura.
- ✓ Regular y controlar las construcciones con énfasis en las normas de control y prevención de riesgos y desastres.
- ✓ Identificar las áreas de riesgo frente a desastres naturales e implementar controles para reducir su impacto.

### **3.2.1. Información territorial que aporta a la gestión de riesgos.**

En la actualidad existen varias organizaciones e instituciones que generan información geográfica. Dentro del ámbito público se tiene a todas las instituciones del Estado a nivel nacional y regional, así como los diferentes GADs ya sean provinciales o municipales, que manejan grandes cantidades de datos espaciales que sirven para la administración del territorio. A éstos se suman organizaciones e instituciones del sector privado, servicios de emergencia e información geográfica voluntaria generada por la ciudadanía

Tras el análisis de los SAT se comprobó que la información territorial generada por los municipios en el catastro es uno de los principales aportes de estos sistemas. Con base a esto y a la información requerida por las dos metodologías tomadas como referencia se determinó qué información territorial es requerida en la gestión de riesgos y si se encuentra disponible en los sistemas catastrales manejados por los gobiernos locales, en la Tabla 7 se indican cuáles son los datos territoriales que aportan en mayor medida a la gestión de riesgos y su disponibilidad en los catastros municipales.

**Tabla 7**

*Información que aporta a la gestión de riesgos*

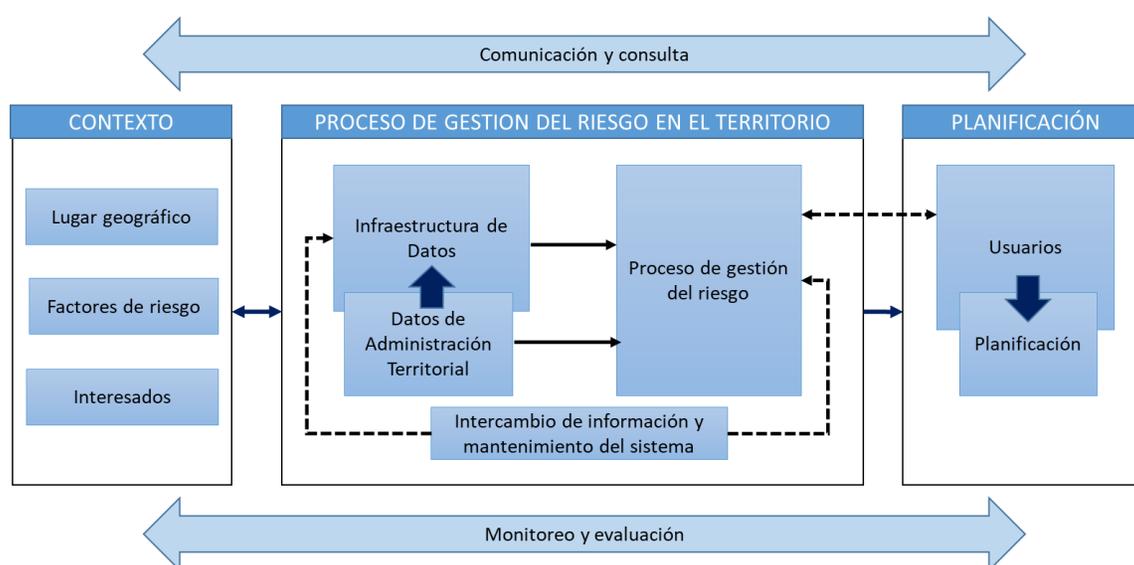
INFORMACIÓN	DMQ	GADMUR	MIDUVI
<b>Ubicación</b>	C	C	C
<b>Información del predio</b>	C	C	C
<b>Topografía</b>	C	C	C
<b>Hidrología</b>	X	X	X
<b>Imágenes satelitales</b>	X	X	X
<b>Uso del suelo</b>	C	C	C
<b>Información de transporte</b>	C	C	C

C= Información disponible en el catastro; X= Información no disponible en el catastro, pero es utilizada por los municipios.

De la información geográfica ya mencionada se tienen dos datos fundamentales para la gestión de riesgos, que son la ubicación e información del predio. Ya que, a partir de éstos, se podrá sobreponer la información adicional en función de las necesidades y su disponibilidad. Un dato adicional que puede ser tomado en cuenta son las claves catastrales que son identificadores únicos de los predios, sin embargo, al no poseer una codificación única a nivel nacional se dificulta su utilización.

### 3.3. Metodología para la gestión de riesgos en el territorio.

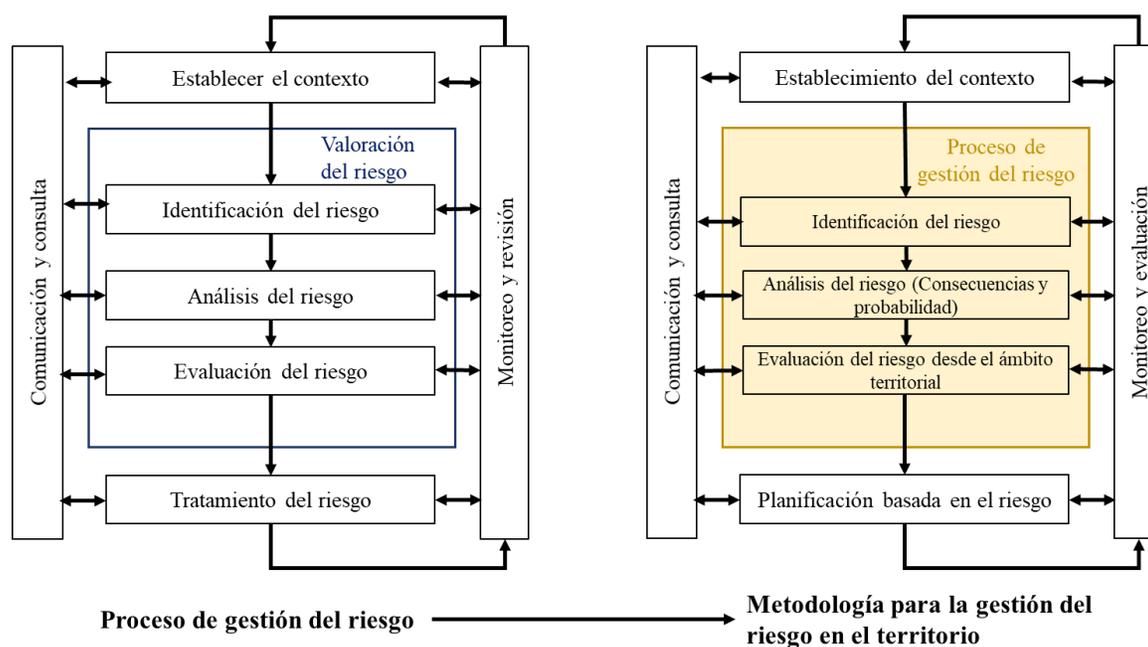
La metodología propuesta está constituida por tres elementos principales que son el contexto, el proceso de gestión del riesgo en el territorio y la planificación, además, de forma transversal a estos tres elementos se tiene dos sub elementos que son la comunicación y consulta, y el monitoreo y evaluación; en la Figura 10 se muestra el modelo conceptual de la metodología.



**Figura 10.** Modelo conceptual, metodología para la gestión de riesgos en el territorio  
Fuente: Adaptado de (Potts, 2013)

El primer elemento permite contextualizar el escenario en el que se va a trabajar, mediante la identificación del lugar territorial, los factores de riesgo y los interesados en la gestión de riesgos en el territorio. El segundo elemento establece el intercambio de información necesaria entre los sistemas de administración territorial y el proceso de gestión del riesgo del cual se obtendrá una evaluación del riesgo en relación al territorio. El último elemento permite a los usuarios, a partir de la evaluación realizada, tomar las acciones necesarias dentro de la planificación territorial para reducir el riesgo. Los dos sub elementos transversales a todo el proceso: comunicación y consulta, y monitoreo y evaluación, permiten su óptimo desarrollo.

Todos los elementos de la metodología se encuentran relacionados con el proceso de gestión de riesgos dado en la AS/NZS ISO 31000:2009 pero adaptados a la gestión de riesgos dentro del ámbito territorial, como indica la Figura 11, lo que permite una gestión efectiva de los riesgos relacionados a los peligros naturales que afectan al territorio y la propiedad.

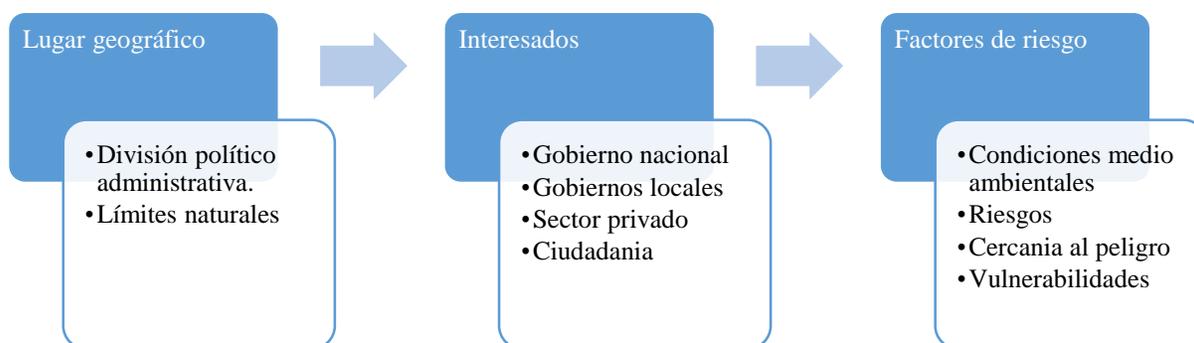


**Figura 11.** Relación proceso AS/NZS ISO 31000:2009 y metodología propuesta

### 3.3.1. Establecimiento del contexto

El establecimiento del contexto permite armar el escenario en el que se va a desarrollar la gestión de riesgos y determinar cuáles serán sus objetivos y alcances. Para esto es necesario tomar en consideración tres elementos que corresponden a identificar el lugar geográfico, identificar a los interesados en la gestión de riesgos y establecer cuáles son los factores de riesgo en dicho territorio como se muestra en la Figura 12. La delimitación del área de trabajo se la puede realizar dependiendo de los requerimientos ya sea mediante límites político-administrativos o límites naturales (accidentes geográficos). Una vez delimitada el área de trabajo es posible establecer

cuáles podrían ser los principales interesados en la gestión de riesgos, conocidos también como stakeholders, entre los que se encuentran las instituciones gubernamentales en sus diferentes niveles, el sector privado y la ciudadanía. Al mismo tiempo en que se define a los interesados en la gestión de riesgos se define el nivel de planificación al que está dirigido el trabajo. Si es para un tomador de decisiones de nivel estratégico superior la información utilizada en el análisis de los riesgos no requiere un excesivo nivel de detalle, al contrario, si está dirigido para un tomador de decisiones local, como son los gobiernos cantonales, será necesario tener un mayor nivel de detalle.

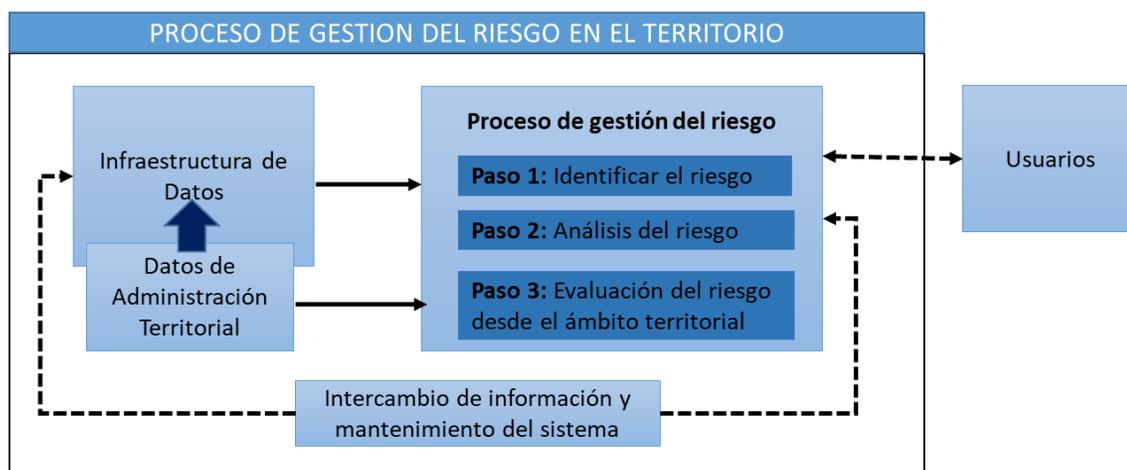


**Figura 12.** Elementos que permiten establecer el contexto

Los factores de riesgo corresponden a los aspectos que pueden afectar una eficiente y efectiva gestión de riesgos. Entre éstos tenemos a las condiciones medio ambientales que incluyen el tipo de terreno, ecología y clima, aspectos que pueden impactar en la probabilidad de ocurrencia y consecuencias de eventos de riesgo, así como la experiencia durante su desarrollo. Otro aspecto son los riesgos, los cuales abarcan a todos los riesgos que podrían resultar en afectación del territorio y la propiedad; la cercanía al peligro se refiere a la proximidad espacial a peligros naturales que pueden resultar en eventos de riesgo; la vulnerabilidad está relacionada con la probabilidad de ocurrencia y las posibles consecuencias que se tienen como efecto de un evento de riesgo, Entre más alto es el nivel de estas variables, mayor es la vulnerabilidad.

### 3.3.2. Proceso de gestión del riesgo en el territorio

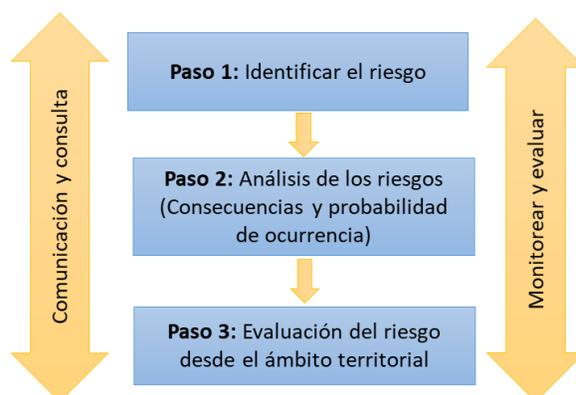
Este proceso consiste en la utilización de la información, así como de las infraestructuras de información territorial en sí, en la identificación, análisis y evaluación de los riesgos producto de peligros naturales sobre el territorio, ver Figura 13. Es importante entender que tanto la información territorial como la información de riesgos deben ser almacenadas dentro de las infraestructuras de información territorial (conformadas por las IDEs y SIG). Una vez que esta información ha ingresado al proceso de gestión de riesgos, la nueva información generada debe volver a alimentar la infraestructura de administración territorial para que la información se mantenga lo más actualizada posible y pueda ser utilizada en nuevos procesos de gestión de riesgos. Al proceso de gestión de riesgos se encuentran ligados y participan activamente los usuarios de la información; esto se consigue a través de los elementos de comunicación y evaluación que se mantienen de forma macro al proceso completo.



**Figura 13.** Proceso de gestión del riesgo en el territorio

### 3.3.2.1. Proceso de gestión del riesgo

El proceso de gestión del riesgo intenta seguir lo planteado por (Saunders, Beban, & Kilvington, 2013) en ‘Risk-based land use planning for natural hazard risk reduction’, lo cual a su vez está alineado con los pasos para la valoración de riesgos que se consideran dentro del proceso de gestión de riesgos en la AS/NZS ISO 31000:2009. Como muestra la Figura 14, se han considerado tres pasos fundamentales, que corresponden a la identificación del riesgo, el análisis del riesgo en función de una valoración de las posibles consecuencias y la probabilidad de ocurrencia del evento, y la evaluación del riesgo desde el ámbito territorial.



**Figura 14.** Pasos que conforman el proceso de gestión del riesgo  
Fuente: Adaptado de (Saunders, Beban, & Kilvington, 2013)

#### ➤ Paso 1: Identificar el Riesgo

Corresponde a identificar las fuentes de riesgo, las áreas de impacto, las causas y posibles consecuencias (en diferentes escenarios que pudieran presentarse). Esta información nos permite definir de manera más clara la estrategia a seguir; en este paso se realizan varias asunciones de peligro por lo cual es importante que se basen en la mejor información disponible al momento; se

deben especificar: asunciones, limitaciones e incertidumbres que se han realizado o surgido al momento de identificar el riesgo.

➤ **Paso 2: Análisis del riesgo**

Para el análisis del riesgo se determinan las consecuencias adversas que pudiera tener el evento natural y la probabilidad de que llegue a ocurrir dentro de un lapso determinado.

**Consecuencias**

La determinación de consecuencias permite determinar las afectaciones que podría ocasionar un evento. Como herramienta de referencia se utiliza los contenidos de la Tabla 8, la cual es una tabla multi-peligros que mide las afectaciones en infraestructura y en los ámbitos económico y de salud y seguridad; para asignar un nivel a la severidad del impacto total.

**Tabla 8**

*Tabla multi-peligros para la determinación de consecuencias*

Severidad del impacto	Infraestructura-Edificaciones			Económico	Salud y Seguridad	
	Social/Cultural	Construcciones	Instalaciones críticas			Servicios vitales
<b>Catastrófico (V)</b>	≥25% de ESC funcionalmente comprometidos	≥50% de edificios funcionalmente comprometidos	≥25% de IC funcionalmente comprometidas.	Urbano: FS >1 mes y PPCA ≥20%; Rural FS >6 meses y PPCA ≥20%	>10% del PIB regional	>101 muertos y/o > 1001 heridos
<b>Mayor (IV)</b>	11-24% de ESC funcionalmente comprometidos	21-49% de edificios funcionalmente comprometidos	11-24% de IC funcionalmente comprometidas.	Urbano: FS 1 semana -1 mes y PPCA ≥20%; Rural: FS 6 semanas - 6 meses y PPCA ≥20%	1-9,99% del PIB regional	11-100 muertos y/o > 101-1000 heridos
<b>Moderado (III)</b>	6-10% de ESC funcionalmente comprometidos	11-20% de edificios funcionalmente comprometidos	6-10% de IC funcionalmente comprometidas.	Urbano: FS 1 día -1 semana y PPCA ≥20%; Rural: FS 1 semana - 6 meses PPCA ≥20%	0,1-0,99% del PIB regional	2-10 muertos y/o > 11-100 heridos
<b>Menor (II)</b>	1-5% de ESC funcionalmente comprometidos	2-10% de edificios funcionalmente comprometidos	1-5% de IC funcionalmente comprometidas.	Urbano: FS 2 horas - 1 día y PPCA ≥20%; Rural: FS 1 día - 1 semana y PPCA ≥20%	0,01-0,09% del PIB regional	≤1 muertos y/o > 1-10 heridos
<b>Insignificante (I)</b>	Ningún ESC funcionalmente comprometido	<1% de edificios funcionalmente comprometidos	No existen IC funcionalmente comprometidas	Urbano: FS ≤2 horas PPCA ≥20%; Rural: FS ≤1 día y PPCA ≥20%	<0,01% del PIB regional	No muertos No heridos

ESC= Edificio con significado social/cultural; IC= Infraestructura crítica; FS= Fuera de servicio; PPCA= Población del pueblo o ciudad afectada; Funcionalmente comprometido= el edificio no puede ser usado para su propósito inmediatamente después del evento.

Fuente: Adaptado de (Saunders, Beban, & Kilvington, 2013)

Para el uso de la tabla es necesario tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- *Social/Cultural*: Porcentaje de edificios de significado social/cultural dentro de la zona de peligro que se encuentran funcionalmente comprometidos. Los edificios de significado social/cultural pueden ser centros de adoración, museos, galerías de arte e instalaciones educativas.
- *Construcciones*: Porcentaje de edificios afectados dentro de la zona de peligro que se encuentran funcionalmente comprometidos.

- *Instalaciones críticas:* Porcentaje de instalaciones críticas dentro de la zona de peligro que están funcionalmente comprometidas. Las instalaciones críticas son aquellas construcciones con una función post-desastre (centros de salud, servicios de emergencia como bomberos y policía, refugios) o instalaciones que contengan material que pueda originar situaciones de peligro.
- *Servicios vitales:* Porcentaje de la totalidad del pueblo o ciudad que se ha quedado sin acceso a servicios vitales debido al desastre y el tiempo que se mantendrán fuera de servicio. Se consideran como servicios vitales a: transporte, distribución de energía eléctrica, agua potable y alcantarillado.
- *Económico:* Porcentaje del PIB (Producto Interno Bruto) regional comprometido durante el evento. Este valor está calculado en base a la fórmula (1), donde el valor económico de las pérdidas corresponde a la suma de pérdidas económicas por destrucción de infraestructura, muertes y heridos.

$$PIB\ comprometido = \frac{\text{valor económico de las pérdidas}}{PIB\ regional} * 100 \quad (1)$$

- *Salud y seguridad:* Número de heridos y muertos en valores enteros, toda estimación decimal será redondeada a su inmediato entero superior.

### **Probabilidad de ocurrencia**

La probabilidad de ocurrencia está determinada por el período de retorno, es decir cada cuanto tiempo ocurre el evento, una vez establecido el período de retorno es asignado un nivel probabilidad conforme a la Tabla 9.

**Tabla 9**  
*Escala de probabilidad de ocurrencia*

Nivel	Descriptor	Descripción	Indicador de frecuencia
5	Probable	El evento ha ocurrido varias veces en tu vida	Hasta una vez cada 50 años
4	Posible	El evento podría ocurrir una vez en tu vida	Una vez cada 51-100 años
3	Improbable	El evento ocurre en alguna parte de vez en cuando	Una vez cada 101-1000 años
2	Raro	Posible pero no se espera que ocurra excepto en circunstancias excepcionales	Una vez cada 1001-2500 años
1	Muy raro	Posible pero no se espera que ocurra excepto en circunstancias excepcionales	2501 años o más

Fuente: Adaptado de (Saunders, Beban, & Kilvington, 2013)

### ➤ Paso 3: Evaluación del riesgo desde el ámbito territorial

Para la evaluación del riesgo es necesario asignar un nivel de riesgo al peligro natural que se está valorando, este proceso se lo realiza a través de la cuantificación de las consecuencias y de la probabilidad de ocurrencia, mediante una matriz de comparación donde los valores de riesgo van desde 1 (extremadamente bajo) a 25 (extremadamente alto) como se indica en la Figura 15.

	CONSECUENCIAS				
PROBABILIDAD	I	II	III	IV	V
5	5	10	15	20	25
4	4	8	12	16	20
3	3	6	9	12	15
2	2	4	6	8	10
1	1	2	3	4	5

**Figura 15.** Cuantificación de consecuencias y probabilidad

Los niveles de riesgo pueden ser aceptable, tolerable e intolerable, y son asignados de acuerdo con los valores de riesgo antes calculados según la Tabla 10.

**Tabla 10***Asignación de niveles de riesgo*

<b>RIESGO</b>	<b>NIVEL DE RIESGO</b>
1-4	Bajo
5-11	Moderado
12-16	Alto
17-25	Extremo

Una vez determinado el nivel de riesgo, es relacionado a los estados de consentimiento que, facilitarán la toma de decisiones en el ámbito territorial, para lo cual se utiliza una codificación por colores como muestra la Figura 16, donde los estados de consentimiento están relacionados a su vez con los valores de riesgo y los niveles de riesgo.

<b>PROBABILIDAD</b>	<b>CONSECUENCIAS</b>				
	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>V</b>
<b>5</b>	Blue	Yellow	Yellow	Red	Red
<b>4</b>	Green	Blue	Yellow	Yellow	Red
<b>3</b>	Green	Blue	Blue	Yellow	Yellow
<b>2</b>	Green	Green	Blue	Blue	Yellow
<b>1</b>	Green	Green	Green	Green	Blue

**Figura 16.** Codificación de colores para los niveles de riesgo

En la Tabla 11 se explica la codificación de los estados de consentimiento, los niveles de riesgo a los cuales están ligados y la acción requerida en cada situación. Los estados de consentimiento están basados en la escala de riesgo y de previsión para la planificación de Kerr, et al., (2003) donde el estado de consentimiento se vuelve más prohibitivo mientras más elevado es el nivel de riesgo. Los niveles de riesgo y las categorías de consentimiento no son rígidos y pueden reducirse o aumentarse acorde al contexto del peligro natural que está en evaluación.

**Tabla 11**  
*Estados de consentimiento*

Nivel de riesgo	Consentimiento	Descripción consentimiento	Acción requerida
Bajo	Permitido	Existe pleno consentimiento	Monitorear y revisar la situación.
Moderado	Controlado	Consentimiento sujeto a monitoreo y revisión por parte de la autoridad.	Implementar tratamiento para reducir la amenaza.
Alto	Discrecional	Existen ciertas restricciones por parte de la autoridad.	Plan de tratamiento debe ser desarrollado, implementado y evaluado anualmente.
Extremo	No conformidad	Se permiten únicamente actividades de alta consecuencia.	Acción inmediata es requerida, la implementación del tratamiento debe ser extensiva y evaluada regularmente.

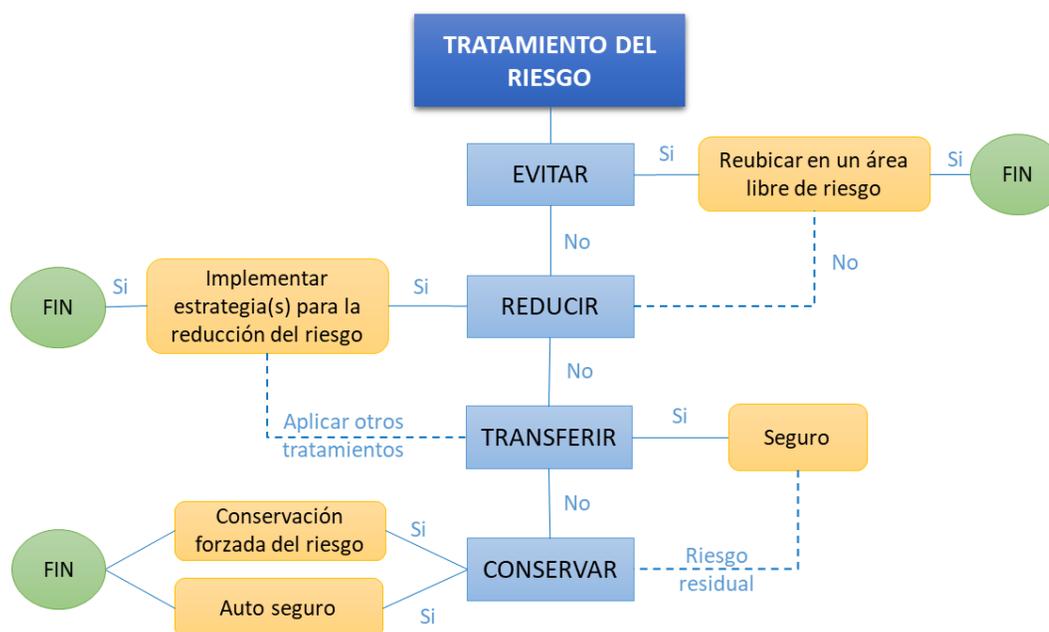
Fuente: Adaptado de (Potts, 2013) y (Kerr, et al., 2003)

### 3.3.3. Planificación basada en el riesgo

Antes de realizar la planificación territorial basada en el riesgo es necesario hacer una revisión de las categorías de riesgo que se han propuesto en los pasos anteriores, identificar las áreas de mayor controversia, definir las acciones para el tratamiento del riesgo y los actuales y nuevos usos de suelo que se pudieran implementar.

Las acciones para el tratamiento del riesgo están enfocadas a disminuir la severidad de las consecuencias y se agrupan en cuatro opciones: la primera consiste en evitar el riesgo mediante la reubicación de personas e infraestructura a un área libre de riesgo; la segunda opción es implementar estrategias que ayuden a reducir el riesgo; si los interesados no han podido reducir el riesgo la tercera opción corresponde a trasladar el riesgo a aseguradoras o agencias especializadas en el tratamiento de riesgos. Finalmente la cuarta opción es conservar el riesgo ya sea de forma forzada debido a la imposibilidad de reubicación, a que las estrategias para reducir el riesgo no demuestran ser efectivas, los seguros no cubren el evento natural o a que el afectado no puede pagar por el mismo; la otra forma de conservar el riesgo es el auto seguro, que surge cuando se han implementado estrategias para la reducción del riesgo pero se mantiene un riesgo residual o cuando

el costo económico de conservar el riesgo es menor al de tratarlo. El proceso a seguir para el tratamiento del riesgo se muestra en el flujograma de la Figura 17.



**Figura 17.** Flujograma del proceso para el tratamiento del riesgo

Al identificar las acciones para reducir el riesgo también se deben analizar los costos y efectos de aplicar dichas acciones y si es necesario involucrar nuevos interesados (stakeholders).

### 3.3.4. Monitoreo y Evaluación

El componente de monitoreo y evaluación es un componente integral del proceso y debe realizarse en todas las etapas del mismo. Existen cuatro áreas principales en este paso: evaluación de la efectividad en la reducción del riesgo, aceptación de las medidas para tratar el riesgo, riesgo residual, y la estrategia de compromiso y comunicación con los afectados.

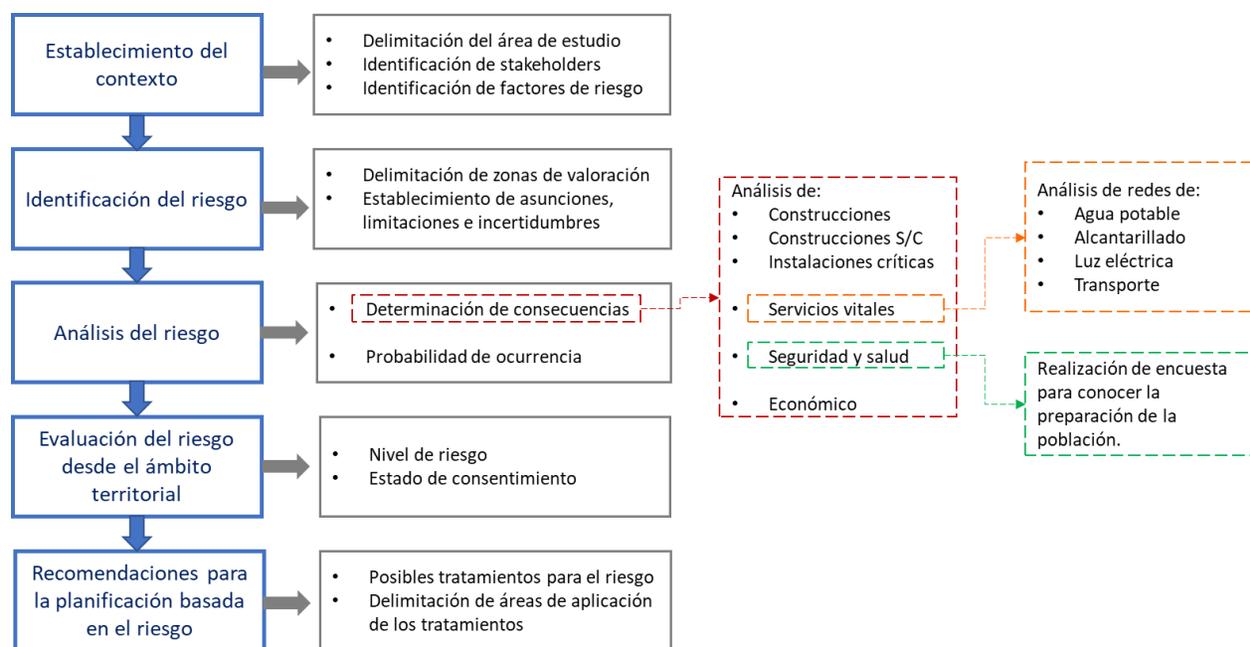
### **3.3.5. Comunicación y Consulta**

La comunicación y consulta con stakeholders internos y externos al proceso de gestión de riesgos debe ser aplicada en el transcurso de todas las etapas del proceso; esto permite establecer el contexto apropiadamente, considerar e incluir nuevas variables que permitan desarrollar de mejor manera el proceso de gestión de riesgos, tomar en consideración las opiniones de expertos en la diferentes áreas que abarca la gestión de riesgos, establecer tratamientos adecuados para evitar o mitigar el riesgo mediante la planificación del territorio y asegurar de que las medidas tomadas serán aplicadas satisfactoriamente ya que el proceso y el resultado del mismo consideró la opinión y necesidades de todos los involucrados.

## CAPITULO IV

### 4. IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA

La implementación de la metodología para la gestión de riesgos en el territorio se llevó a cabo de forma piloto en un sector de las posibles áreas afectadas en el valle de Los Chillos por uno de los peligros relacionados a la actividad eruptiva del volcán Cotopaxi, específicamente los flujos de lodo o lahares, los cuales son flujos lodos cargados de partículas sólidas de diferentes tamaños que se desplazan a grandes velocidades por las laderas del volcán. El proceso de implementación sigue lo establecido en la metodología propuesta, como indica el flujograma de la Figura 18.



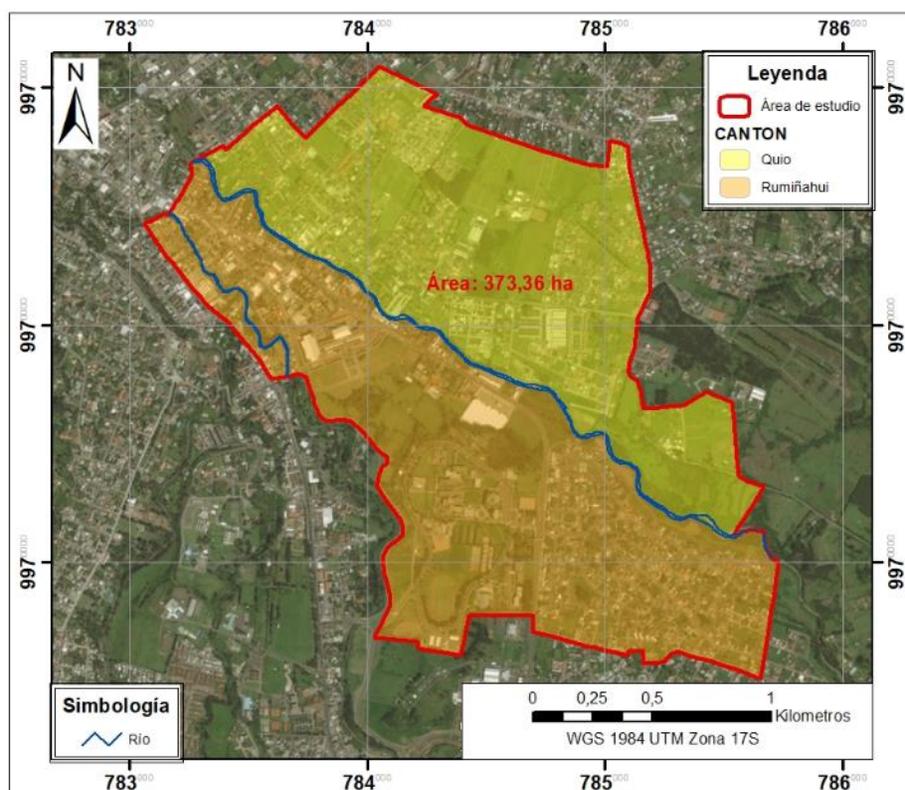
**Figura 18.** Flujograma del proceso aplicado en la implementación de la metodología

#### 4.1. Contextualización

El volcán Cotopaxi con una altura de 5.897 metros sobre el nivel del mar es el segundo volcán activo más alto del mundo y uno de los de mayor peligro en el Ecuador debido a la actividad que ha tenido en épocas recientes y su cercanía a áreas pobladas. Entre los principales peligros volcánicos del Cotopaxi están la caída de ceniza, emisión de flujos piroclásticos y los lahares producto de la fusión de la capa de hielo glacial que recubre la parte superior del cono del volcán. Las mayores áreas pobladas que se verían afectadas por una eventual erupción están la ciudad de Latacunga y el valle de Los Chillos (Aguilera & Toulkeridis, 2005), específicamente la conurbación Quito (Distrito Metropolitano de Quito, DMQ) - Sangolquí (Cantón Rumiñahui, GADMUR). Registros históricos llevados por el Instituto Geofísico de la EPN sobre el volcán Cotopaxi muestran que éste ha tenido cinco períodos eruptivos: 1532-1534, 1742-1744, 1766-1768, 1853-1854 y 1877-1880, en los cuales se han originado al menos diez eventos relacionados con lahares que han afectado seriamente a la ciudad de Latacunga por su cercanía; reseñas históricas indican que por lo menos tres de éstos afectaron fuertemente al valle de Los Chillos. Los drenajes naturales que nacen en la cima del volcán sirven de camino para el desplazamiento de los lahares; debido a esta dinámica, la afectación de los lahares se extiende por las cuencas hidrográficas de los ríos Esmeraldas al norte, Pastaza al sur y Napo al este. En el caso del valle de Los Chillos, el área se ve afectada por los lahares transportados a través de los ríos Pita y Santa Clara que confluyen en el río San Pedro, todos forman parte de la cuenca hidrográfica del río Esmeraldas.

Uno de los estudios más recientes de los lahares que pueden afectar al valle de Los Chillos fue realizado en el 2018 en la cuenca del río Pita, en el cual a través de una modelación se determinó

las áreas de inundación por el derretimiento de los glaciares en esta cuenca, al ser uno de los datos más actuales se tomó como área de estudio precisamente las zonas que se verían afectadas en el Valle de Los Chillos por el lahar transportado a través de la cuenca del río Pita, en el mapa de la Figura 19 se muestran los límites del área de estudio que abarca 373,36 ha y está distribuida entre los cantones GADMUR) y DMQ, ya que el río Pita es la división político administrativa entre ambas jurisdicciones territoriales.



**Figura 19.** Área de estudio, localizada entre los cantones Quito y Rumiñahui

Por las características del evento y al verse involucrada una gran extensión del territorio nacional dentro de las áreas afectadas por una eventual erupción del volcán Cotopaxi, los stakeholders considerados son tan diversos como las instituciones relacionadas a la administración territorial y

gestión de riesgos pertenecientes al gobierno central, así como las de los gobiernos locales (provincial y cantonal-metropolitano), el sector privado y la ciudadanía en general. Para efectos de este trabajo y con base en lo mencionado en los capítulos anteriores, donde se encontró que el catastro es uno de los elementos principales de la administración territorial sumado a las atribuciones y obligaciones que la normativa legal vigente da a los GADs Municipales – Metropolitanos a través del COOTAD. En lo referente a la administración territorial y gestión de riesgos, se han considerado como principales interesados al GADMUR y GAD DMQ en conjunto a los actores privados y ciudadanos que están vinculados al área afectada.

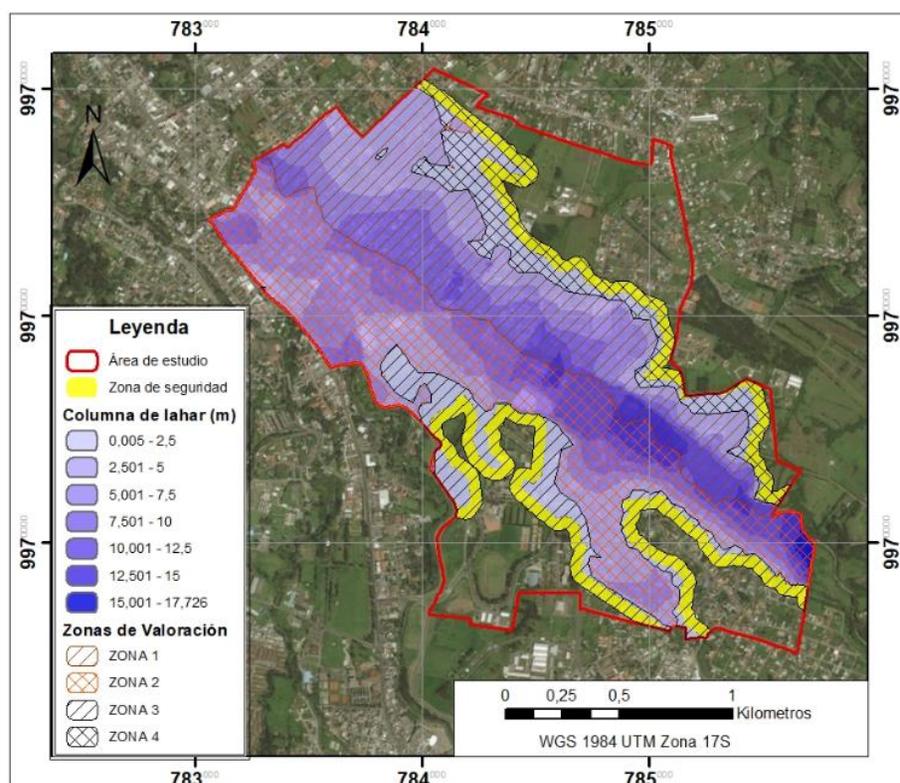
Debido a su ubicación, el valle de Los Chillos no presenta condiciones ambientales o climáticas severas que puedan ser consideradas como agravantes importantes ante la ocurrencia de una erupción volcánica y por defecto de los lahares relacionados a ésta. La principal vulnerabilidad se debe al crecimiento poblacional que ha experimentado esta zona en las últimas décadas y el consecuente asentamiento de la población y construcción de infraestructura en zonas de riesgo debido a una falta de planificación territorial, lo cual incrementa la vulnerabilidad de personas y bienes.

## **4.2. Proceso de gestión del riesgo en el territorio**

### **4.2.1. Identificación**

El área delimitada para el estudio se sitúa a las riberas del río Pita a su paso por el valle de Los Chillos, abarca una extensión de 373,37 ha, siendo el área de impacto directo del lahar de 239,52 ha; la altura de la columna del lahar en esta zona varía desde los 0,005 m hasta los 17,726 m, como se puede observar en el mapa de la Figura 19 en degradados de color azul. Se consideró una zona

de seguridad de 50m alrededor de la zona de impacto, esto sigue el criterio tomado por Padilla (2017) para el cálculo de tiempos de evacuación ante una eventual erupción del volcán Cotopaxi, y permitiendo que la valoración del riesgo sea más efectiva. Dicha zona está representada por una franja de color amarillo en la Figura 20.



**Figura 20.** Lahar, área de impacto y zonificaciones para la valoración de riesgos

Para la valoración de los riesgos se dividió al área en cuatro zonas: las zonas 1 y 2 consideran únicamente el área de impacto del lahar con una columna desde los 2,50 m hasta los 17,726 m de altura, mientras las zonas 3 y 4 corresponden a la suma del área de impacto con una columna inferior a los 2,50 metros y la franja de seguridad de 50 m alrededor de la zona de impacto del lahar. De igual forma se consideró para la creación de las zonas el límite político administrativo

entre el DMQ y el GADMUR, así las zonas 4 y 1 se ubican en el DMQ mientras las zonas 3 y 2 en el GADMUR.

El valor de 2,50 metros fue tomado por ser la altura promedio de una planta de construcción de una vivienda y al existir en su mayoría viviendas de dos plantas en la zona se considera que una persona podría mantenerse a salvo en la segunda planta de su vivienda al realizar una evacuación vertical. El área de estudio es en su mayoría de uso residencial con ciertas áreas comerciales en las vías principales. Existe, además, la presencia de centros educativos de importancia como la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE. A continuación, se muestra en la Tabla 12, las asunciones, limitaciones e incertidumbres en las cuales se basó el proceso de la gestión de riesgos.

**Tabla 12**

*Asunciones, limitaciones e incertidumbres consideradas en la aplicación del proceso*

<b>Asunciones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Se asume una erupción similar a la de 1877, en la cual se produjo el deshielo del glaciar del volcán Cotopaxi.</li> <li>➤ Se considera únicamente la población fija, no la población móvil.</li> <li>➤ Las viviendas de más de dos plantas son lo suficientemente resistentes al paso del lahar.</li> </ul>
<b>Limitaciones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ No se cuenta con información actualizada del lahar que llegaría por la cuenca del río Santa Clara, colindante con el área de estudio.</li> </ul>
<b>Incertidumbres</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Complicaciones que podrían ocasionar otras amenazas volcánicas como la caída de ceniza.</li> <li>➤ Efectos que ocasionarían condiciones climáticas extremas como lluvias torrenciales que pudieran ocurrir a la par de la erupción.</li> </ul>

#### 4.2.2. Análisis del riesgo del lahar

Para el análisis del riesgo del lahar es necesario determinar las consecuencias y la probabilidad de ocurrencia.

#### **4.2.2.1. Consecuencias del lahar**

La determinación de las consecuencias se realizó en función de los parámetros establecidos en la tabla multi-riesgos; los parámetros referentes a construcciones particulares, construcciones con servicio social o cultural, instalaciones críticas, el aspecto económico y el de salud y seguridad fueron determinados para cada una de las zonas de valoración que conforman el área de estudio. El parámetro correspondiente a servicios vitales que incluye los servicios de agua potable, alcantarillado, abastecimiento eléctrico y transporte fueron analizados para el total de las áreas urbanas del DMQ y del GADMUR ya que la severidad del impacto para éstos se mide en relación a la afectación al total de las poblaciones involucradas.

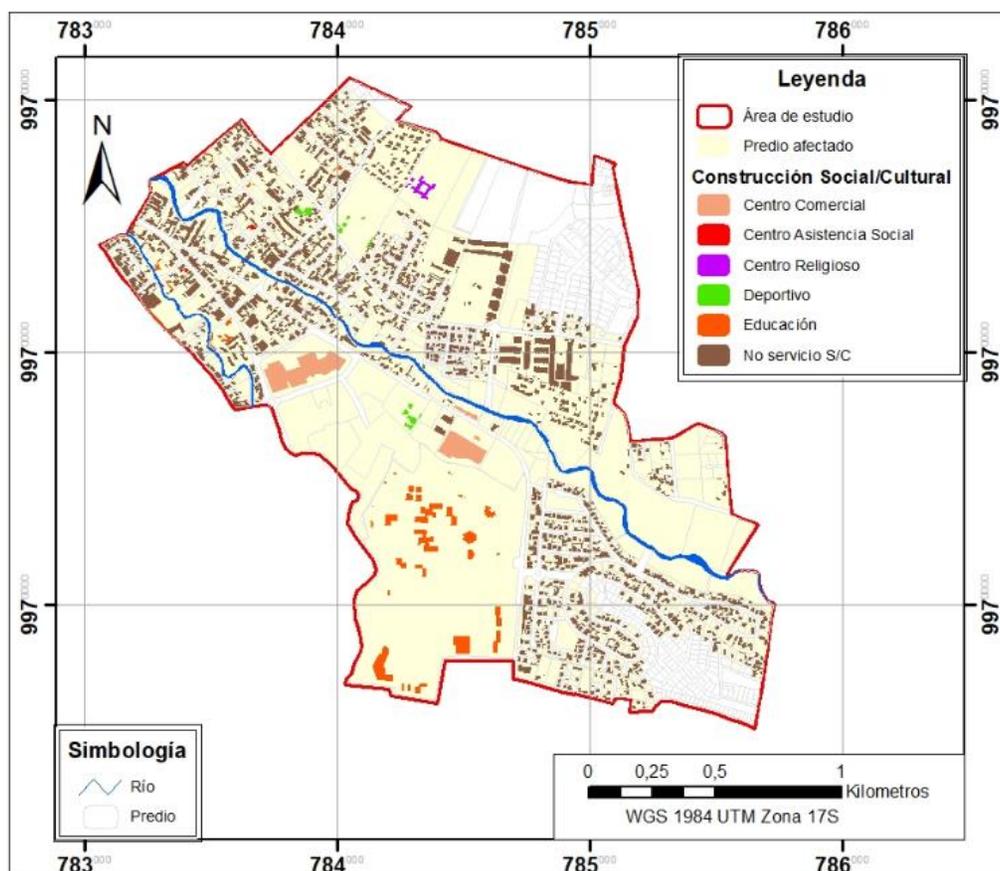
##### **➤ Construcciones de Servicio Social/Cultural e Instalaciones Críticas**

Fueron seleccionados 1159 predios que se ubican en las zonas de valoración definidas al interior del área de estudio. Para la obtención de las capas predial y de bloques constructivos se realizó una depuración e integración de las bases catastrales del DMQ y GADMUR. Se utilizó una ortofoto del 2017 para actualizar y completar mediante digitalización la información de predios y bloques constructivos.

Datos catastrales como el destino económico o uso del predio sirvieron para la identificación de construcciones con servicio social o cultural y de instalaciones críticas, especialmente del DMQ de donde sí se contaba con dichos datos. Para el GADMUR se realizó un levantamiento de la información mediante recorridos de campo con los que se verificó a su vez la información del DMQ. Entre las construcciones con un servicio social o cultural se encontraron centros deportivos, educativos, religiosos, de asistencia social y centros comerciales importantes, como se observa en

el mapa de la Figura 21. En el caso de instalaciones críticas (estaciones de policía, bomberos, centros médicos o refugios) no se encontró ninguna construcción destinada a estas funciones dentro de las zonas de valoración.

Debido a las características propias del evento natural, el cual dejaría cubierta el área afectada por una capa de lodo y agua, las zonas 1 y 2 tendrán el total de sus construcciones funcionalmente comprometidas al tener una columna de lahar superior a los 2,5 m, mientras en las zonas 3 y 4 se consideró que las construcciones estarían funcionalmente comprometidas únicamente cuando la columna del lahar fuera superior a 0,5 m.



**Figura 21.** Plano de predios y construcciones dentro del área de afectación

El total de construcciones y de construcciones con servicio social/cultural, así como los porcentajes de construcciones funcionalmente comprometidas de cada una, se muestra la Tabla 13.

**Tabla 13**

*Construcciones totales y construcciones funcionalmente comprometidas (CFC)*

Zona	Elemento	Construcciones	CFC	Porcentaje CFC (%)
ZONA 1	Social/Cultural	29	29	100,00
	Construcciones	1235	1235	100,00
ZONA 2	Social/Cultural	27	27	100,00
	Construcciones	899	899	100,00
ZONA 3	Social/Cultural	19	5	26,32
	Construcciones	232	58	25,00
ZONA 4	Social/Cultural	10	0	0,00
	Construcciones	300	168	56,00

### ➤ Seguridad y Salud

El primer paso fue determinar la población que habita en el área de estudio al año 2019 mediante las tasas de crecimiento cantonales dadas por el INEC, 1,85% para Quito y 2,69% para Rumiñahui, aplicando la fórmula:

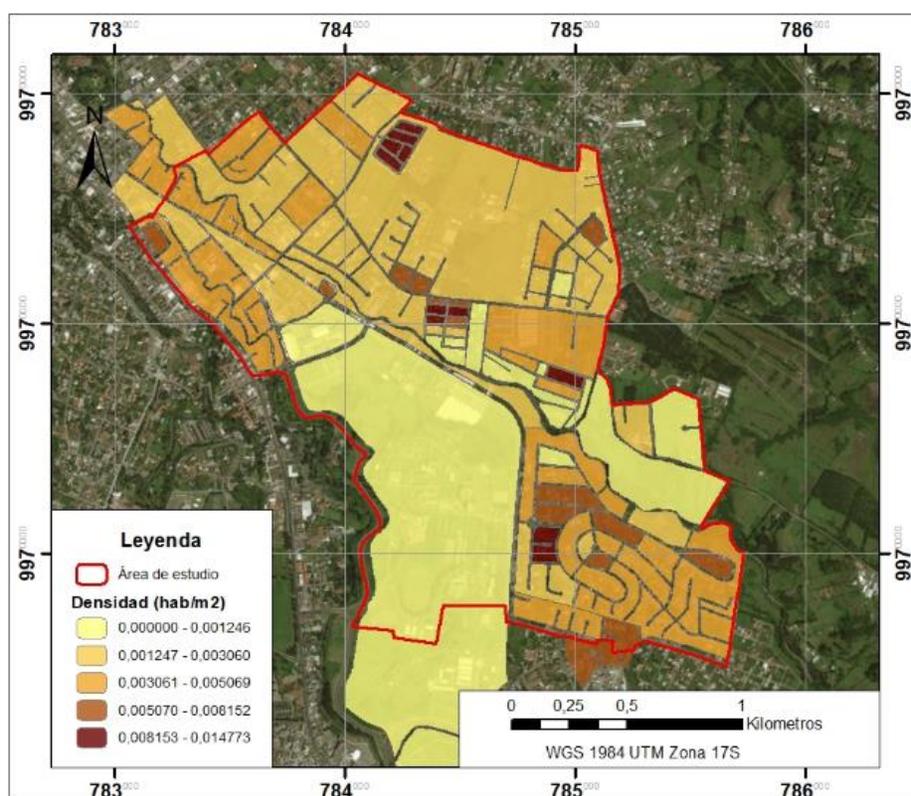
$$Pf = Po(1 + TCA)^n \quad (2)$$

Donde

- Pf= población final (año 2019)
- Po= población inicial (año 2010)
- n = períodos (años)
- TCA= tasa de crecimiento anual

Con los datos poblacionales actualizados al 2019 para cada una de las manzanas censales del INEC, se calculó la densidad poblacional respectiva como se observa en el mapa de densidades de la Figura 22. Así se obtuvo el número de habitantes en la zona afectada al cruzar el mapa de densidades con el mapa de las zonas de valoración del riesgo.

El número de posibles muertos se definió a partir de un escenario, en el que las personas que no se encuentran preparadas para afrontar la situación de emergencia producto del lahar del Cotopaxi, pondrían en peligro su integridad física al no abandonar a tiempo el área de impacto del lahar.



**Figura 22.** Mapa de densidad poblacional por manzana censal

Para estimar el grado de preparación de la población se realizó una encuesta de selección múltiple, en la cual se preguntó a las personas si tenían conocimiento que el lugar donde se encontraban es zona de peligro por lahares, si habían participado en simulacros de evacuación por

el lahar del Cotopaxi en el pasado, si conocían las rutas de evacuación y las zonas seguras, además, se preguntó qué tiempo consideraban como óptimo para evacuar el área en caso de emergencia y cuán probable creían experimentar una erupción del volcán Cotopaxi en el transcurso de su vida, la encuesta aplicada se encuentra en el Anexo 1, así como las respuestas y los pesos asignados a cada pregunta. En el cálculo de la muestra se utilizó la fórmula para la estimación de una proporción poblacional cuando la población es conocida, señalada en la ecuación (3).

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 N p q}{p q Z_{\alpha/2}^2 + (N - 1) e^2} \quad (3)$$

Donde:

- N: tamaño de la población
- $Z_{\alpha/2}$  se define según el nivel de confianza
- p: proporción de éxitos
- q: proporción de fracasos
- e: error máximo tolerable

En la aplicación de la encuesta se consideró únicamente a las zonas 1 y 2, las zonas 3 y 4 no fueron tomadas en consideración ya que dentro del escenario propuesto se estableció que por las características de estas zonas no existirían muertos. A un nivel de confianza del 95%,  $Z_{\alpha/2}=1,96$ , p y q desconocidos con un valor de 0,5 para ambos y una población conocida de 4177 habitantes en las zonas 1 y 2 se obtuvo una muestra de 352 personas.

$$n = \frac{1,96^2 * 4177 * 0,5 * 0,5}{0,5 * 0,5 * 1,96^2 + (4177 - 1) * 0,05^2} = 351,88 \approx 352$$

La encuesta fue desarrollada únicamente en las zonas de valoración 1 y 2, con la ayuda de la aplicación móvil “ODK Collect” y se la realizó de persona a persona. A continuación, se muestra en la Tabla 14 los resultados de la tabulación de la encuesta, donde se indican el peso asignado a cada pregunta y los aportes de estas a la preparación o no preparación de los individuos, la tabulación completa se puede ver en el Anexo 2.

**Tabla 14**

*Preparación de la población ante amenaza de lahar*

<b>Pregunta</b>	<b>Peso</b>	<b>Preparado (%)</b>	<b>No preparado (%)</b>
pregunta 2	0,3	26,16	3,84
pregunta 3	0,3	19,26	10,74
pregunta 4	0,1	8,72	1,28
pregunta 5	0,2	8,01	11,99
pregunta 6	0,1	5,94	4,06
<b>TOTAL</b>	<b>1</b>	<b>68,10</b>	<b>31,90</b>

La encuesta mostró que el 68,10 % de la población que habita en las zonas 1 y 2 estaría preparada o tiene conocimientos básicos de qué hacer en el caso de una emergencia debido a los lahares del Cotopaxi. Se tomó como peor escenario que la población restante, el 31,90%, que no se encuentra preparada, resulte físicamente comprometida por el lahar dando como resultado su fallecimiento. En la Tabla 15 se indica el número estimado de muertes para cada zona de valoración con base en el escenario propuesto.

**Tabla 15***Estimación de muertes (EM)*

Zona	Habitantes	EM (%)	EM (individuos)
Zona 1	1866	31,90	596
Zona 2	2311	31,90	738
Zona 3	614	0,00	0
Zona 4	766	0,00	0

➤ **Económico**

Para el cálculo de las pérdidas económicas se siguió la ecuación (4) basada en la ecuación (1) ya explicada en la metodología, en lugar del PIB se consideró el VAB (Valor Agregado Bruto), el cual equivale a los valores de bienes y servicios generados en una región, y es un valor representativo similar al PIB. Los parámetros considerados dentro de las pérdidas se explican a continuación.

$$PIBk = \frac{SU * CSU + CU * CCU + EM * ECM}{PIBc} \quad (4)$$

Donde:

- SU= Suelo urbano afectado [m2]
- CSU= Costo del suelo urbano [\$/m2]
- CU= Construcciones urbanas afectadas [m2]
- CCU= Costo construcciones urbanas [\$/m2]
- EM= Estimación de muertes [individuos]
- ECM = Estimación de costo por muerte [\$/individuos]
- PIBc = Valor Agregado Bruto cantonal [\$/]
- PIBk = Valor Agregado Bruto comprometido [\$/]

Los valores para los VAB cantonales, que equivalen a los valores de bienes y servicios generados en cada cantón, fueron obtenidos de los valores agregados brutos cantonales provisionales dados por el Banco Central del Ecuador para el año 2017. La estimación de costo por muerte (ECM) fue calculada de acuerdo con la edad promedio de una persona en el Ecuador que según el INEC a partir del 2010 es de 29 años y la edad de jubilación que es de 60 años. Si consideramos como edad promedio de las personas los 29 años quiere decir que tienen aun 31 años como personas económicamente activas, el valor del ECM se obtiene al multiplicar el VABpi (Valor agregado bruto por habitante) por 31 años, la Tabla 16 muestra el ECM para cada cantón.

**Tabla 16***Estimación costo económico por muerte (ECM)*

Cantón	Habitantes	VABc (M.\$)	VABpi (\$)	ECM (\$/individuo)
<b>Quito</b>	2.644.145	24.426,598	9.237,99	286.377,84
<b>Rumiñahui</b>	107.043	803,979	7.510,80	232.834,93

Los valores para los costos de suelo y de construcción fueron tomados del estudio “Economic risk assessment of Cotopaxi volcano, Ecuador, in case of a future lahar emplacement” realizado por Rodríguez, Toulkeridis, Sandoval, Padilla, & Mato (2016), donde se establecieron los valores de \$250 por m<sup>2</sup> de suelo urbano y 500 por m<sup>2</sup> de construcción urbana en el valle de Los Chillos.

**Tabla 17***Costo económico comprometido (VABk)*

Zona	SU (ha)	CSU (\$/m <sup>2</sup> )	CU (ha)	CCU (\$/m <sup>2</sup> )	EM (individuo)	ECM (\$/individuo)	VABc (M.\$)	VABk (%)
<b>Zona 1</b>	79,09	250	17,79	500	596	286.377,84	24.426,598	1,87
<b>Zona 2</b>	91,14	250	39,61	500	738	232.834,92	803,979	74,35
<b>Zona 3</b>	14,33	250	2,50	500	0	232.834,92	803,979	6,01
<b>Zona 4</b>	16,29	250	5,55	500	0	286.377,84	24.426,598	0,28

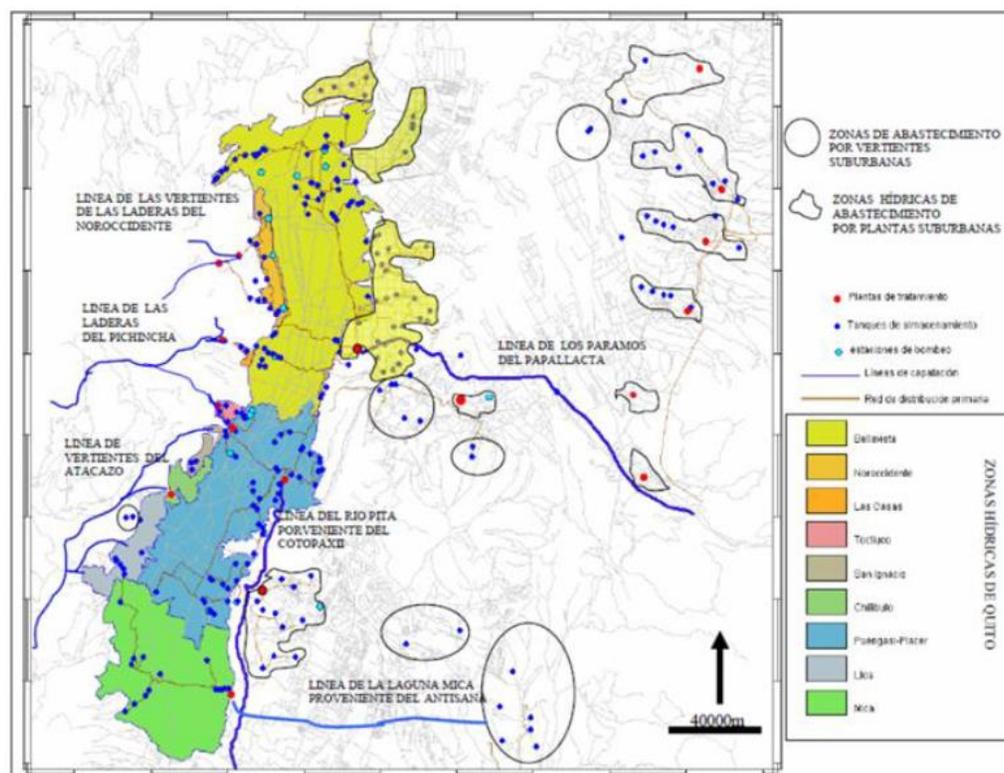
### ➤ **Servicios Vitales**

Dentro de los servicios vitales fueron analizados los servicios de agua potable, alcantarillado, abastecimiento eléctrico y transporte, el análisis de su afectación abarcó la totalidad de zonas afectadas por el lahar en el DMQ y el GADMUR ya que es necesario conocer cómo afectarán al total de la población.

#### *Servicio de agua potable*

En el DMQ la institución encargada por el municipio del servicio de agua potable es la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS), responsable de realizar acciones y proyectos relacionados al servicio de agua potable y saneamiento. El sistema de abastecimiento de agua potable se encuentra conformado por los elementos de captación, tratamiento y distribución del agua. El abastecimiento del agua divide a la ciudad de Quito en 9 zonas hídricas como se observa en la Figura 23. Las áreas son delimitadas según el recorrido realizado por el agua desde los puntos de captación hacia las plantas de tratamiento (Peña, 2016).

- Zona Hídrica Puengasí - Placer
- Zona Hídrica Lloa
- Zona Hídrica Chilibulo
- Zona Hídrica Placer - San Ignacio
- Zona Hídrica Toctiuco
- Zona Hídrica Las Casas - Rumipamba
- Zona Hídrica Noroccidente
- Zona Hídrica Mica - Quito Sur



**Figura 23.** Zonas hídricas de distribución de agua en el DMQ

Fuente: (Peña, 2016)

En una eventual erupción del volcán Cotopaxi, los lahares producto de ésta comprometerían principalmente a los sistemas de captación y transporte del agua cruda, los cuales se encargan de recoger el agua natural mediante el encausamiento de ríos y vertientes con el uso de canales y tuberías. Las zonas hídricas que se verían comprometidas son Bellavista (color amarillo), Puengasí-Placer (color azul) y Mica-Quito Sur (color verde), que en su conjunto abastecen de agua potable a algo más del 80% de la ciudad. Como se observa en la Tabla 18, el riesgo para las zonas hídricas de Bellavista y Puengasí-Placer se debe principalmente a que las líneas de captación que las alimentan se cruzan en su recorrido con los ríos Santa Clara, Pita y San Pedro que son sitios de tránsito del lahar, el cual destruiría los canales y tuberías de las líneas de captación, para mitigar

este riesgo desde el 2016 están en funcionamiento pasos elevados en estos puntos para evitar que las líneas de captación entren en contacto con el lahar como se ve en la Figura 24.

**Tabla 18**

*Zonas hídricas y líneas de captación afectadas por el lahar*

<b>Zona hídrica</b>	<b>Línea de abastecimiento</b>	<b>Afectación</b>	<b>Obra de mitigación</b>
<b>Bellavista</b>	Línea de captación Papallacta	Punto de cruce de la línea de captación con el río San Pedro	Paso elevado sobre el río San Pedro
<b>Puengasí-Placer</b>	Línea de captación Pita-Puengasí	Línea de captación se alimenta de las aguas del río Pita y la línea sigue en varios tramos paralela al río.	Eventual reactivación acuíferos Iñaquito (700 lt/seg) e instalación de tres estaciones de bombeo para transportar agua de las plantas de potabilización de Bellavista y El Placer hacia Puengasí
<b>Mica-Quito Sur</b>	Línea de captación Mica-Quito Sur	Puntos de cruce de las líneas de captación con los ríos Santa Clara y Pita.	Pasos elevados sobre los ríos Santa Clara y Pita



**Figura 24.** Obras de mitigación, pasos elevados y bombas

Fuente: (EPMAPS, 2017)

Sin embargo, el riesgo no ha podido ser evitado para la zona Hídrica Puengasí-Placer, ya que la línea de captación Pita Puengasí, que es la principal abastecedora de esta zona y toma el agua directamente del río Pita, entre las medidas de mitigación tomadas está la posibilidad de reactivar los acuíferos de Ñaquito y la instalación de tres bombas que en caso de ser necesario permitirían transportar el agua de las plantas de tratamiento Bellavista y El placer hacia la planta de Puengasí para suplir el líquido vital en la zona hídrica afectada (La Hora, 2015).

Tras el análisis es evidente el riesgo para la zona hídrica Puengasí-Placer cuya principal fuente de abastecimiento es la línea de captación Pita-Puengasí que transporta el agua del río Pita que nace en las faldas del volcán Cotopaxi. Esta línea de captación se vería inutilizada tras el paso del lahar. Si bien se han buscado alternativas de abastecimiento de agua, como la posibilidad de reactivar los acuíferos de Ñaquito y el trasvase con el uso de bombas que permitirían tomar agua desde las plantas de tratamiento de otras zonas hídricas. Hasta que no se haya conseguido un aumento considerable en la capacidad de las demás líneas de captación, el servicio de agua potable en el área de esta zona hídrica que cubre al sur y centro sur de la ciudad de Quito sería limitado. A continuación, se enlista las fuentes y los caudales con los que aportan:

**Tabla 19**

*Aporte en caudal de las fuentes de agua del DMQ*

<b>Origen</b>	<b>Aporte (lt/seg)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Vertientes Volcán Cotopaxi (Río Pita)	2600	32,79
La Mica	1600	20,18
Vertientes de Papallacta	3000	37,83
Vertientes Volcán Atacazo	300	3,78
Vertientes del Pichincha	250	3,15
Vertientes Laderas Noroccidentales de Quito	180	2,27

Fuente: (Peña, 2016)

El aporte de las diferentes fuentes está directamente relacionado con el requerimiento de agua de la población, por lo que al perderse el aporte de las vertientes que provienen del volcán Cotopaxi (Línea de captación Pita-Puengasí) se afectaría directamente al 32,79 % de la población urbana de la ciudad hasta que sea reparada la línea de captación que tomaría cerca de 8 meses (El Comercio, 2016).

El cantón Rumiñahui se abastece de 17 vertientes y pozos. El principal sistema de captación es el de Molinuco que abastece con 210 lt/seg al 50% de la población del cantón, siendo éste el sistema que se vería especialmente afectado por el paso del lahar ya que la tubería cruza por debajo del río Pita (El Comercio, 2015). El estudio realizado por Tibanlombo & Villacís (2013) muestra en la Tabla 20 las vertientes de las que se abastece la ciudad, que poseen una vulnerabilidad media ante la ocurrencia de un lahar, y corresponden casi al 100% de ellas.

**Tabla 20**

*Vertientes que alimentan al GADMUR con vulnerabilidad media*

<b>Captación</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Línea de conducción</b>
Vertiente Molinuco	Mushuñan	Santa Rosa
		Mushuñan
	Tanque Cashapamba	El Rancho
		Cashapamba
Vertiente Orejuela	Tanque Orejuela	San Rafael
Vertiente El Milagro	Tanque El Milagro	Fajardo
Vertiente Ecuacobre	Tanque San Pedro	San Pedro
Luz de América	Tanque Cashapamba	Cashapamba
Vertiente San Clemente	Tanque San Fernando	San Fernando
Vertiente Sambache	Tanque San Vicente	San Vicente
Vertiente Cotogchoa	Tanque Albornoz	Cotogchoa - Salcoto
Vertiente Chaupi	Mushuñan	Sistema Sangolquí

Fuente: (Tibanlombo & Villacís, 2013)

Como medidas de mitigación el GADMUR planificó la construcción de 6 pozos adicionales en Loreto, San Agustín, Leticia, San Fernando y Curipungo que proveerían con 100 lt/seg en caso de ser necesarios; sin embargo, el cantón ha sufrido de racionamiento de agua en condiciones normales hasta el año 2017. Obras como el sistema San Juan de Amaguaña que aporta con 83 lt/seg, la casa de la Moneda y el pozo profundo de Mushuñan con 75 lt/seg han ayudado a solucionar el inconveniente del racionamiento, pero se demuestra que en caso de una erupción, las demás fuentes de la ciudad no están en capacidad de cubrir la demanda de las áreas abastecidas por el sistema Molinuco, ya que al día de hoy apenas se cubre la demanda normal de la ciudad y que según el PDOT del cantón se espera alcance los 786,56 lt/seg para el 2025 (GADMUR, 2015) (GADMUR, 2017). Esto llevó a establecer que se generaría un importante desabastecimiento de agua en por lo menos un 50% de la población e inclusive un racionamiento de agua en todo el cantón hasta que se hayan solucionado los desperfectos ocasionados por el lahar que podrían llevar más de un mes.

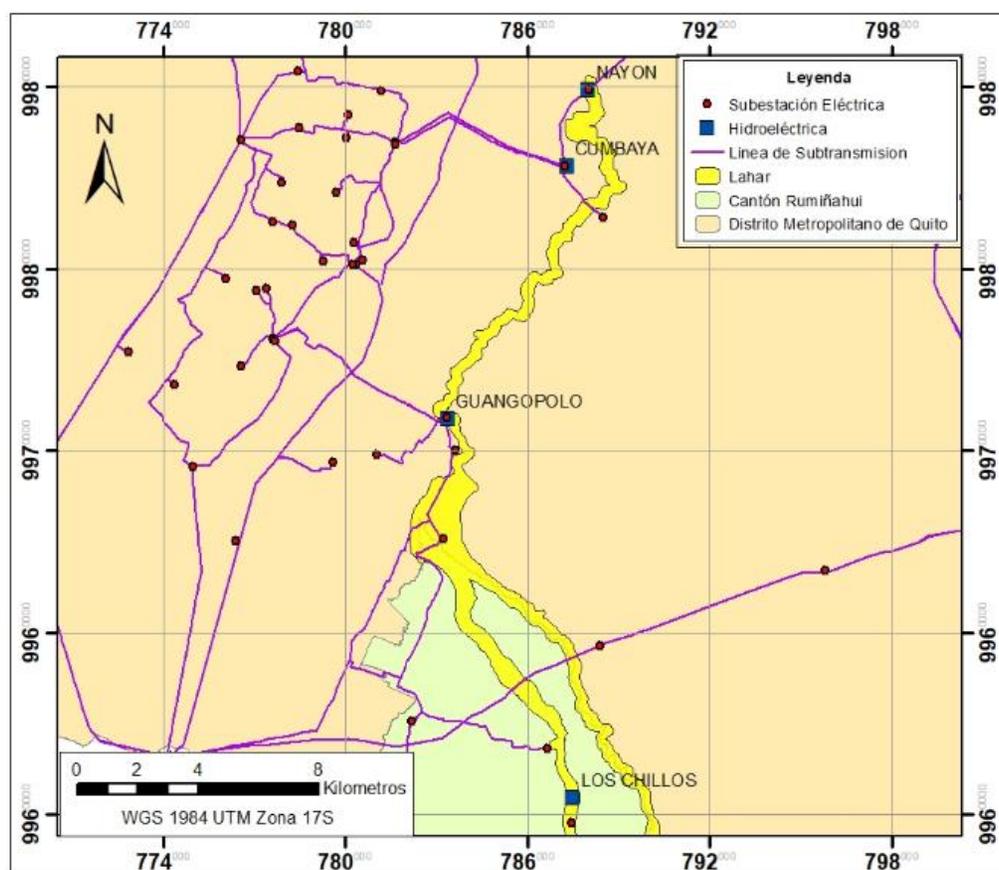
#### *Servicio de alcantarillado*

El sistema de saneamiento para el DMQ y GADMUR se vería principalmente afectado por el taponamiento de tuberías y desagües debido a la acumulación de material arrastrado por el lahar, por lo cual las principales áreas afectadas serían las zonas de afectación directa del lahar y de la zona inter lahar. En la Tabla 23 se muestra la población afectada en cada uno de los cantones. El tiempo de paralización del servicio en el área afectada sería indefinido.

#### *Servicio eléctrico*

La distribución de energía eléctrica de los cantones Quito y Rumiñahui está a cargo de la Empresa Eléctrica Quito (EEQ). Los principales elementos que conforman el sistema eléctrico son

las subestaciones de transmisión y distribución, las líneas de subtransmisión, las líneas de distribución y los puntos de carga (medidores). El sistema eléctrico de la EEQ se abastece principalmente del Sistema Nacional de Transmisión (SNT) y en menor medida de pequeñas centrales hidroeléctricas y térmicas de propiedad de la EEQ. En la Figura 25, se observa gran parte de las hidroeléctricas, líneas de subtransmisión y subestaciones que conforman el sistema eléctrico de la EEQ, la distribución de estas infraestructuras entre el GADMUR y el DMQ, así como aquellas que se encuentran en el paso del lahar representado de color amarillo.



**Figura 25.** Elementos del sistema eléctrico de la EEQ

Si bien cuatro hidroeléctricas (de un total de cinco que posee la EEQ) estarían comprometidas por el lahar ya sea porque se localizan a su paso o porque utilizan aguas de los ríos Pita, Santa Clara

y San Pedro para su funcionamiento, el abastecimiento eléctrico no debería ser afectado por la paralización de estas hidroeléctricas ya que la red eléctrica se alimenta principalmente del SNT que debería estar en capacidad de suplir la energía de las hidroeléctricas afectadas. Los elementos que de verse afectados podrían causar grandes interrupciones del servicio eléctrico son las líneas de transmisión y las subestaciones. Las líneas de transmisión que cruzan áreas afectadas por el lahar son aéreas y están soportadas por torres de alturas considerables por lo cual no deberían tener una gran afectación, sin embargo, no es así para las cuatro subestaciones localizadas en el área de peligro que tendrían su infraestructura comprometida, de éstas la subestación que mayor afectación ocasionaría en el abastecimiento eléctrico es la de San Rafael (Los Chillos) debido a que las tres restantes sirven principalmente a las hidroeléctricas de la EEQ.

Pese a lo que se ha identificado, existen subestaciones que se verían afectadas, al formar parte de todo un sistema eléctrico; las áreas a las que prestan servicio las subestaciones afectadas, especialmente la subestación de San Rafael, podrían ser compensadas con energía proveniente de otras subestaciones pertenecientes a la red eléctrica, con lo cual la cobertura eléctrica sería algo limitada en el área del valle de Los Chillos, pero no se suspendería en su totalidad. La principal afectación estaría directamente en la zona de afectación por el lahar, ver Tabla 23. Debido a la pérdida de las líneas de distribución (postes y cableado), al tener varias infraestructuras afectadas, es difícil establecer un tiempo de reposición, sin embargo, en la Tabla 21 se muestran tiempos estimados para reposición por daños de la infraestructura en condiciones normales. Al ser las subestaciones los principales elementos afectados y que ocasionan mayor interrupción en el servicio, se estima un lapso no menor a los 3 meses para el restablecimiento completo del servicio eléctrico.

**Tabla 21***Tiempos de recuperación en caso de afectación a un componente del sistema eléctrico*

<b>Tipo de infraestructura</b>	<b>Tiempo previsto de reposición</b>	<b>Incidencia en el servicio</b>
Central Hidroeléctrica	Más de 8 meses cuando el daño es considerable	Afecta a toda el área de servicio y si está interconectado puede haber racionamiento de energía.
Subestación	Más de 3 meses	Puede transferirse el servicio provisional.
Generador	Depende del tiempo	Afecta la instalación local y el área de servicio que este tenga.
Torres de transmisión	8 - 15 días	Las conexiones aledañas y de servicio de la zona
Postes de 15 m.	2 días	Las conexiones aledañas y de servicio del mismo.
Postes de 11 m.	1 día	Las conexiones aledañas y de servicio del mismo.
Postes de 6 m.	0,5 – 1 día	Las conexiones aledañas y de servicio del mismo.
Cableado	Depende de la longitud de pérdida, colocación entre postes hasta 2 horas.	Las conexiones aledañas y de servicio del mismo.

Fuente: (Narváez, 2007)

*Servicio de transporte*

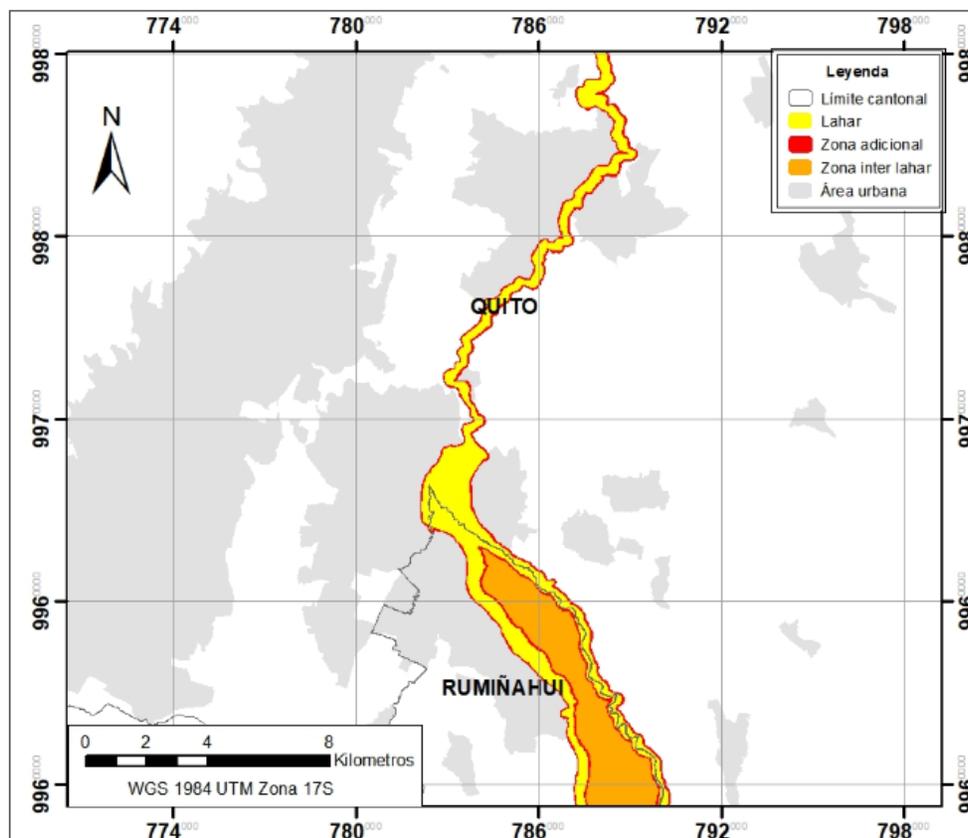
Dentro del aspecto de transporte se consideró principalmente el análisis de la red vial ya que a través de este medio se realiza todo el servicio de transportación en la zona afectada. En la Tabla 22 se hace una revisión del trabajo realizado por Narváez (2007), donde determinó las características de las vías que componen la red vial afectada por el lahar del Cotopaxi, clasificándolas en cuatro tipos según sus características, también determinó las afectaciones por el lahar, el tiempo estimado de reposición y la incidencia que tendría en el servicio para cada uno de los tipos.

**Tabla 22***Evaluación de afectación y tiempos de recuperación para infraestructura vial*

<b>Tipo</b>	<b>Característica</b>	<b>Ancho de vía</b>	<b>Observaciones</b>	<b>Tiempo previsto de reposición</b>	<b>Incidencia en el servicio</b>
A	Tramos urbanos	22 – 30 m.	Acumulaciones menores de material.	2 meses si el daño es considerable	Toda el área de servicio
B	Tramos interurbanos	6 a 12 m.	Acumulación de material y desgaste físico de las superficies.	Más de 1 mes	Toda el área cercana
C	Sin acceso a propiedades colindantes	4 a 8 m.	Serán afectadas las vecinas a los cauces (zona de incidencia del lahar)	Más de 2 semanas	Puede transferirse el servicio provisionalmente
D	Con acceso a propiedades colindantes	Menor a 4 m.	Serán afectadas las vecinas a los cauces (zona de incidencia del lahar)	Depende del tipo de afectación	Afecta la instalación local y el área de servicio que esta tenga.

Fuente: Adaptado de (Narváez, 2007)

En el trabajo realizado por Tibanlombo y Villacís (2013) se determinó una vulnerabilidad baja de la red vial ante la ocurrencia de un lahar del Cotopaxi, para lo cual tomaron las variables: estado de revestimiento, mantenimiento y estándares de diseño y construcción. Considerando los trabajos antes mencionados, se determinó que si bien existen importantes vías en el camino del lahar su infraestructura debería poder resistir el evento natural, especialmente las vías principales, que quedarían cubiertas debido a la acumulación de material. Al existir vías alternativas para la transportación se estableció que la principal afectación del transporte se daría en la zona directa de afectación del lahar y de la zona inter lahar, ver Tabla 23, por más de dos meses hasta el despeje de las vías principales.



**Figura 26.** Afectación del lahar en las áreas urbanas del GADMUR y DMQ

Como ya se indicó los servicios correspondientes a alcantarillado, abastecimiento eléctrico y transporte se verían suspendidos en la zona de afectación del lahar. Para estimar el porcentaje de la población urbana del DMQ y del GADMUR que se quedaría sin estos servicios se consideró una zona adicional de 50 m alrededor del lahar como se observa de color rojo en el mapa de la Figura 26, además, se incluyó dentro del área afectada por el lahar a la zona inter lahar que se localiza entre los ríos Santa Clara y Pita, representada de color naranja.

Tras definir las zonas donde se suspenderían los servicios vitales ya mencionados, se elaboró un mapa de densidad poblacional por zonas censales del INEC para las áreas urbanas de ambos cantones, con la aplicación de la fórmula de la ecuación (2) se actualizó la población al 2019. Luego

de cruzar el mapa de densidad poblacional y el del área afectada se obtuvo la población afectada para ambos cantones como indica la Tabla 23, con lo que se estimó que un 0,64 % de la población del área urbana del DMQ y un 29,16 % de la población del área urbana del GADMUR se verían afectadas.

**Tabla 23**

*Estimación de la población afectada en las zonas urbanas*

	<b>Pob. Zona urbana</b>	<b>Pob. Afectada</b>	<b>Pob. Afectada (%)</b>
<b>DMQ</b>	2440013	15542	0,64
<b>GADMUR</b>	98802	28814	29,16

#### 4.2.2.2. Análisis de las consecuencias del lahar

Una vez determinadas las consecuencias en lo referente a construcciones, construcciones con interés social/cultural, instalaciones críticas, ámbito económico y de salud y seguridad, se procedió a aplicar la tabla multi-riesgos para determinar el nivel de consecuencias de cada uno de estos elementos, la Tabla 24 indica la severidad del impacto para cada una de las zonas de valoración.

**Tabla 24**

*Establecimiento de consecuencias por el lahar en cada una de las zonas de valoración*

<b>Zona de valoración</b>	<b>Severidad del impacto</b>				
	<b>Social/Cultural</b>	<b>Construcciones</b>	<b>Instalaciones Críticas</b>	<b>Económico</b>	<b>Salud y Seguridad</b>
Zona 1	Catastrófico (V)	Catastrófico (V)	Insignificante (I)	Mayor (IV)	Catastrófico (V)
Zona 2	Catastrófico (V)	Catastrófico (V)	Insignificante (I)	Catastrófico (V)	Catastrófico (V)
Zona 3	Catastrófico (V)	Catastrófico (V)	Insignificante (I)	Mayor (IV)	Insignificante (I)
Zona 4	Insignificante (I)	Catastrófico (V)	Insignificante (I)	Moderado (III)	Insignificante (I)

Tras haber aplicado la tabla de consecuencias, se muestra en la Tabla 25 la severidad del impacto para cada una de las zonas de valoración.

**Tabla 25***Severidad del impacto por el lahar en las zonas de valoración*

<b>Zona de valoración</b>	<b>Consecuencias</b>	<b>Severidad del impacto</b>
<b>ZONA 1</b>	Social/Cultural	<b>Catastrófico</b> – Todos los ESC están funcionalmente comprometidos.
	Construcciones	<b>Catastrófico</b> – Todos los edificios están funcionalmente comprometidos.
	Instalaciones críticas	<b>Insignificante</b> – No existen IC.
	Económico	<b>Mayor</b> – 1,87 % del PIB del cantón Quito.
	Salud y Seguridad	<b>Catastrófico</b> – 596 muertos, no heridos.
<b>ZONA 2</b>	Social/Cultural	<b>Catastrófico</b> – Todos los ESC están funcionalmente comprometidos.
	Construcciones	<b>Catastrófico</b> – Todos los edificios están funcionalmente comprometidos.
	Instalaciones críticas	<b>Insignificante</b> – No existen IC.
	Económico	<b>Catastrófico</b> – 74,35 % del PIB del cantón Rumiñahui.
	Salud y Seguridad	<b>Catastrófico</b> – 738 muertos, no heridos.
<b>ZONA 3</b>	Social/Cultural	<b>Catastrófico</b> – 26,32% de los ESC están funcionalmente comprometidos.
	Construcciones	<b>Catastrófico</b> – 25% de los edificios están funcionalmente comprometidos.
	Instalaciones críticas	<b>Insignificante</b> – No existen IC.
	Económico	<b>Mayor</b> – 6,01% del PIB del cantón Rumiñahui.
	Salud y Seguridad	<b>Insignificante</b> – No muertos, no heridos.
<b>ZONA 4</b>	Social/Cultural	<b>Insignificante</b> – No existen ESC.
	Construcciones	<b>Catastrófico</b> – 56% de los edificios están funcionalmente comprometidos.
	Instalaciones críticas	<b>Insignificante</b> – No existen IC.
	Económico	<b>Moderado</b> – 0,28% del PIB del cantón Quito.
	Salud y Seguridad	<b>Insignificante</b> – No muertos, no heridos.

ESC= Edificio con significado social/cultural; IC= Infraestructura crítica; FS= Fuera de servicio; PPCA= Población del pueblo o ciudad afectada; Funcionalmente comprometido= el edificio no puede ser usado para su propósito inmediatamente después del evento.

El nivel de consecuencias en los servicios vitales fue evaluado por separado, ver Tabla 26, ya que la afectación a estos servicios se cuantifica a nivel de toda la población y no únicamente dentro de las zonas de valoración.

**Tabla 26**

*Establecimiento de consecuencias por el lahar en la población urbana*

Población	Severidad del impacto			
	Agua potable	Alcantarillado	Electricidad	Transporte
DMQ	Catastrófico (V)	Insignificante (I)	Insignificante (I)	Insignificante (I)
GADMUR	Catastrófico (V)	Catastrófico (V)	Catastrófico (V)	Catastrófico (V)

De acuerdo a la tabla de consecuencias, la severidad del impacto para las poblaciones urbanas del GADMUR y el DMQ en lo referente a servicios vitales es el siguiente:

**Tabla 27**

*Severidad del impacto por el lahar en la población urbana*

Población	Consecuencias	Severidad del impacto
DMQ	Agua potable	<b>Catastrófico</b> – El 32,79 % de la población urbana tendría racionamientos por al menos 8 meses.
	Alcantarillado	<b>Insignificante</b> – El 0,64 % de la población urbana no tendría el servicio por tiempo indefinido.
	Electricidad	<b>Insignificante</b> – El 0,64 % de la población urbana no tendría el servicio por al menos 3 meses.
	Transporte	<b>Insignificante</b> – El 0,64 % de la población urbana tendría un servicio limitado por al menos 2 meses.

CONTINÚA 

<b>GADMUR</b>	Agua potable	<b>Catastrófico – El 50 % de la población urbana tendría racionamientos por más de un mes.</b>
	Alcantarillado	<b>Catastrófico – El 29,16 % de la población urbana no tendría el servicio por tiempo indefinido.</b>
	Electricidad	<b>Catastrófico – El 29,16 % de la población urbana no tendría el servicio por al menos 3 meses.</b>
	Transporte	<b>Catastrófico – El 29,16 % de la población urbana tendría un servicio limitado por al menos 2 meses.</b>

#### 4.2.2.3. Probabilidad de ocurrencia

De acuerdo al tipo de actividad y los períodos de descanso identificados en los registros históricos del volcán Cotopaxi de los últimos 2000 años, el tiempo estimado que transcurre entre dos erupciones sucesivas es de  $117 \pm 70$  años, sin embargo, se debe considerar que la última erupción fue en 1877 y que el tiempo de reposo hasta el 2019 ha sido de 142 años lo que llevaría a esperar una erupción dentro de los siguientes 45 años (Aguilera & Toulkeridis, 2005). En la aplicación de la tabla de probabilidad de ocurrencia, Figura 27, la probabilidad de una eventual erupción del volcán Cotopaxi corresponde a un nivel 5, es decir probable, ya que, si bien entre cada erupción existe un período superior a los 100 años, debido al tiempo de reposo transcurrido se espera la siguiente erupción en menos de 50 años.



Nivel	Descriptor	Descripción	Indicador de frecuencia
5	Probable	El evento ha ocurrido varias veces en tu vida	Hasta una vez cada 50 años
4	Posible	El evento podría ocurrir una vez en tu vida	Una vez cada 51-100 años
3	Improbable	El evento ocurre en alguna parte de vez en cuando	Una vez cada 101-1000 años
2	Raro	Posible pero no se espera que ocurra excepto en circunstancias excepcionales	Una vez cada 1001-2500 años
1	Muy raro	Posible pero no se espera que ocurra excepto en circunstancias excepcionales	2501 años o más

**Figura 27.** Probabilidad de ocurrencia para una erupción del volcán Cotopaxi

### 4.2.3. Evaluación del riesgo desde el ámbito territorial

Una vez determinadas las consecuencias y la probabilidad de ocurrencia se determinó el nivel de riesgo y el estado de consentimiento para cada una de las zonas. En la gestión de riesgos es necesario evaluar el siempre el peor escenario posible para así estar preparados ante cualquier eventualidad, y al contar todas las zonas de valoración con una consecuencia que podría resultar catastrófica, es tomado este nivel de severidad para la evaluación de todas las zonas, al ser el peor escenario posible. De igual forma la probabilidad de ocurrencia del evento para todas las zonas de valoración es “probable”, por lo tanto, las cuatro zonas de valoración tendrán el mismo nivel de riesgo que corresponde a “Extremo” y el estado de consentimiento de “No conformidad” como se muestra en la Figura 28.

		CONSECUENCIAS				
PROBABILIDAD		I	II	III	IV	V
5		Blue	Yellow	Yellow	Red	Red with star
4		Green	Blue	Yellow	Yellow	Red
3		Green	Blue	Blue	Yellow	Yellow
2		Green	Green	Blue	Blue	Yellow
1		Green	Green	Green	Green	Blue

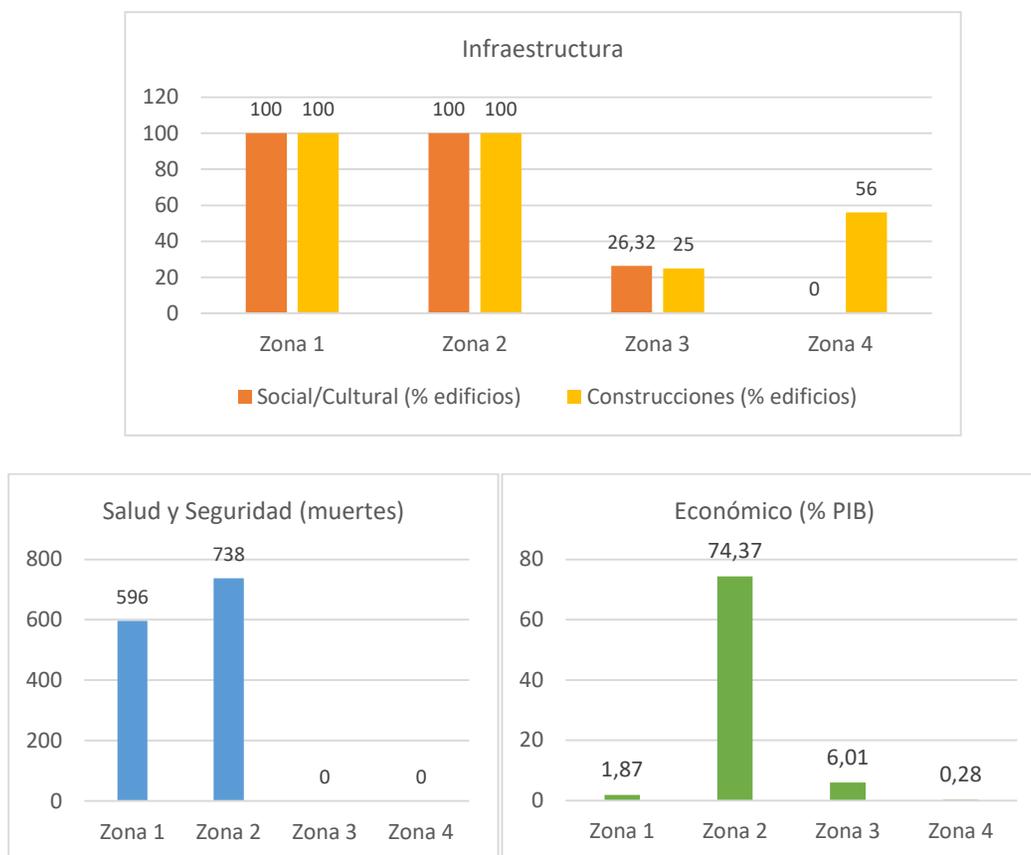
Nivel de riesgo	Consentimiento
Bajo	Permitido
Moderado	Controlado
Alto	Discrecional
Extremo	No conformidad

**Figura 28.** Evaluación del riesgo desde el ámbito territorial para el lahar

### **4.3. Recomendaciones de planificación territorial**

El paso final en la aplicación del modelo para la gestión del riesgo en el territorio es el de reducir el nivel de riesgo a través de la planificación territorial, en este paso intervienen otras herramientas del ámbito territorial como son los PUOS (Planes de Uso y Ocupación del Suelo) o los PDOTs (Planes de Desarrollo y Ordenamiento territorial). Todas las acciones propuestas están enmarcadas en el proceso para el tratamiento del riesgo que implica tomar acciones dirigidas a evitar, reducir, trasladar o conservar el riesgo, las cuales deben ser aplicadas en ese orden según sea posible su ejecución. Las acciones para tratar el riesgo fueron divididas en dos categorías, aquellas que están enfocadas específicamente a reducir el riesgo en las zonas de valoración y alcanzan una aplicación a nivel predial, y aquellas que si bien reducen el riesgo en las zonas de valoración también reducen el riesgo del resto de la población y su aplicación está más bien a nivel del cantón.

Para la formulación de las recomendaciones, además, del nivel de riesgo y el estado de consentimiento se tomó en consideración las consecuencias con mayor incidencia en cada una de las zonas de valoración y la viabilidad de su aplicación. En las gráficas de la Figura 29, se muestran de forma comparativa las afectaciones en infraestructura, salud y seguridad y en el ámbito económico en cada una de las zonas de valoración, donde se evidencia que las principales afectaciones se dan en las zonas 1 y 2, y están especialmente ligadas al alto número de construcciones existentes en la zona de riesgo.



**Figura 29.** Comparación de las consecuencias en las zonas de valoración

En la Tabla 28 se indican las acciones que deberían ser implementadas para tratar el riesgo en cada zona de valoración. Posteriormente se agrupó las acciones según la posibilidad de aplicarlas de forma simultánea dentro de una misma área, con lo que se crearon tres áreas de aplicación (AP) que comparten características comunes. Las acciones van enfocadas principalmente a disminuir el número de construcciones de uso particular que se verían comprometidas por el lahar a través de una reubicación, el trasladar y evitar que construcciones que brindan servicios de importancia social, cultural o como instalaciones críticas se ubiquen en zonas de afectación y el aseguramiento de los bienes que podrían ser afectados para evitar pérdidas económicas.

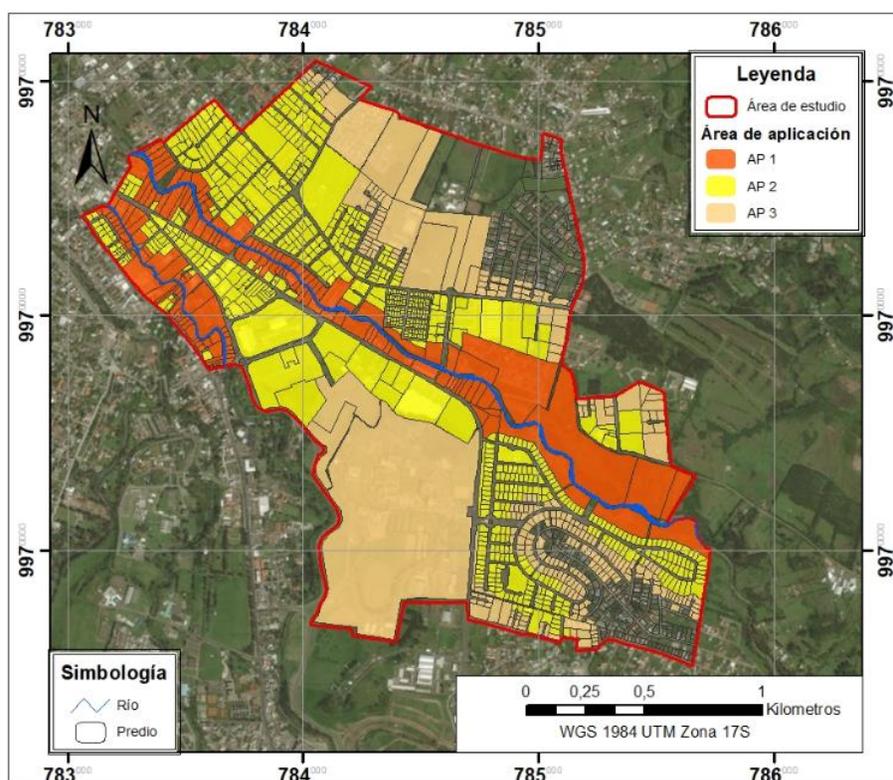
**Tabla 28***Acciones específicas para las zonas de valoración y su área de aplicación*

<b>Zona de valoración</b>	<b>Acciones</b>	<b>Área de aplicación (AP)</b>	<b>Extensión del AP</b>	<b>Predios</b>
Zona 1 y Zona 2	Reubicación de las personas asentadas justo a las riberas del río para disminuir la cantidad de construcciones afectadas.	AP 1	Predios ubicados a una distancia de hasta 30 m de la ribera del río, se incluyen predios municipales cercanos.	164
	No autorizar construcciones en lotes vacíos y nuevas construcciones en lotes ya ocupados.	AP 2	Predios entre el área AP1 y los límites de las zonas 1 y 2.	726
No permitir la construcción de nuevas IC y CSC.				
Zona 3 y Zona 4	Reubicar en áreas seguras los edificios de uso socio cultural.	AP 3	Predios pertenecientes a las zonas 3 y 4	269
	Reubicar en áreas seguras los edificios de uso socio cultural.			
	No permitir la construcción de nuevas IC y CSC.			
	Edificios en esta zona deben tener por lo menos dos plantas y deben cumplir especificaciones técnicas dadas por la autoridad			

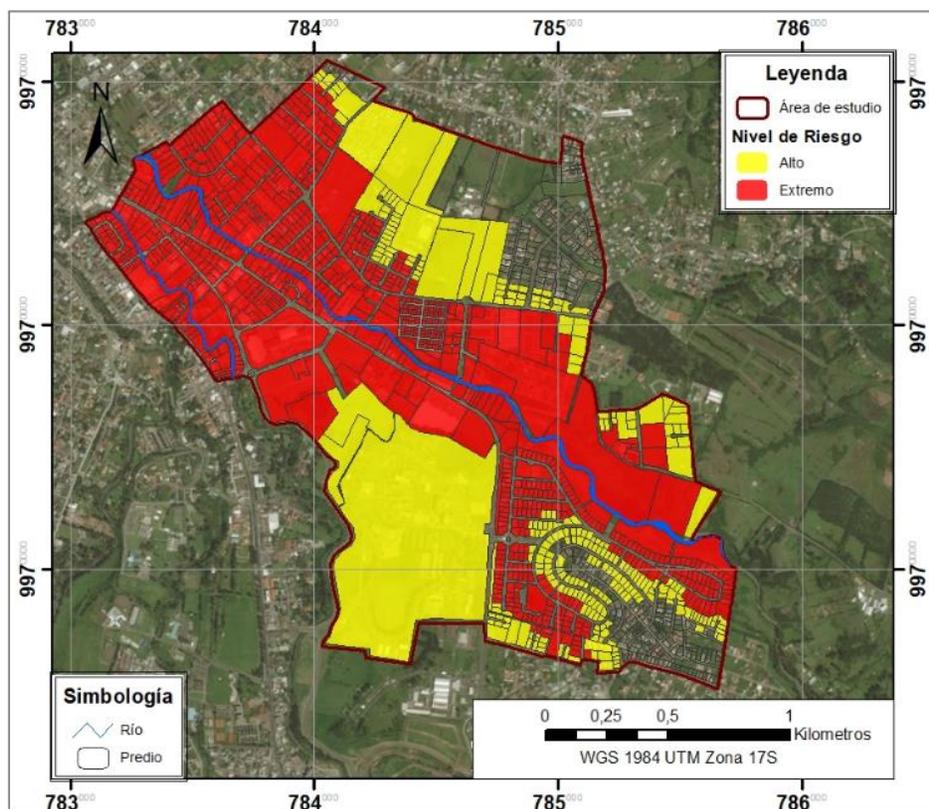
Como paso siguiente fueron seleccionados los predios correspondientes a cada una de las áreas de aplicación como muestra el mapa de la Figura 30. La selección de los predios se realizó con ayuda de los centroides; si el centroide de un predio cae dentro del área de aplicación, automáticamente pasa a formar parte de dicha área. Para la verificación de que los predios se ubicarán en el área de aplicación más adecuada se realizó posteriormente un barrido manual de todos los predios para comprobando que estuvieran incluidos dentro del área de aplicación correcta dependiendo de su ubicación y grado de vulnerabilidad ante el lahar.

También se asignó el nivel de riesgo correspondiente a cada uno de los predios afectados. Antes de asignar los niveles de riesgo se realizó una nueva revisión, ya que si bien tras la evaluación del

riesgo realizada, las cuatro zonas poseen un nivel de riesgo “Extremo” y un estado de consentimiento de “No conformidad”. Por las características de las zonas 3 y 4 donde la columna de lahar no supera los 2,50m y en conjunto con las acciones que se han recomendado para tratar el riesgo en estas zonas, que indican que las construcciones deben tener al menos dos plantas y cumplir con ciertas características constructivas determinadas por la autoridad que garanticen la resistencia de la estructura, el nivel de riesgo de las zonas 3 y 4 se redefinió en “Alto” y un estado de consentimiento “Discrecional” lo que a su vez permite la aplicación de las acciones recomendadas. Para las zonas 1 y 2 se mantuvo el nivel de riesgo original como muestra el mapa de la Figura 31.

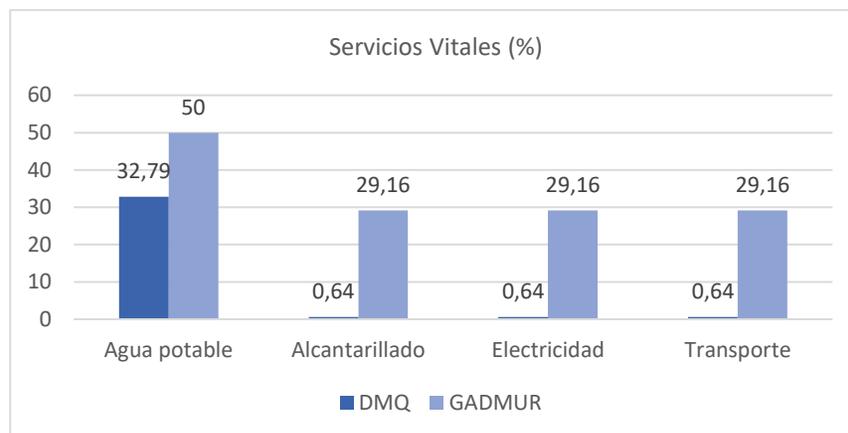


**Figura 30.** Áreas de aplicación delimitadas a nivel predial



**Figura 31.** Asignación de los niveles de riesgo a los predios

En lo correspondiente a servicios vitales, la planificación que permita mitigar la severidad del impacto implica la toma de acciones por parte de los municipios y de las empresas o instituciones encargadas de brindar el servicio. La Figura 32 muestra el porcentaje de la población urbana afectada por el desabastecimiento o paralización de los servicios en ambos municipios, siendo la principal afectación en lo correspondiente al abastecimiento de agua potable, especialmente para el GADMUR.



**Figura 32.** Comparación de las consecuencias a nivel cantonal

Las acciones que se recomienda tomar para evitar o mitigar el riesgo en los diferentes servicios vitales son:

- Ampliación de la capacidad de los sistemas de captación de agua existentes y planificación de nuevos sistemas en áreas seguras para evitar el desabastecimiento de líquido vital por pérdida de infraestructuras de captación comprometidas por el lahar.
- Mantenimiento óptimo de la infraestructura vial y reforzamiento de puntos críticos como cruces con los ríos que sirven de camino al lahar e invertir más en el desarrollo de nuevos ejes viales que no atraviesen el área de afectación.
- Elaborar un plan para el manejo de aguas servidas en las áreas de afectación por el lahar en caso de emergencia y evitar que colectores principales atraviesen estas áreas.
- Repotenciar subestaciones de transmisión eléctrica que se encuentran cercanas al área de afectación para suplir el servicio de las subestaciones afectadas, rediseñar la red paulatinamente para que la suspensión del servicio eléctrico sea mínima.

## CAPITULO V

### 5. INTEGRACIÓN DE LA GESTIÓN DE RIESGOS EN EL CATASTRO

Una vez concluido el proceso de gestión de riesgos en el territorio, se integraron los resultados obtenidos en la valoración del riesgo y las acciones para el tratamiento del riesgo en cada predio catastrado a través del uso del software STDM, que es un plugin del software QGis diseñado para gestionar información catastral. Esta integración demuestra el potencial de las herramientas de la administración territorial, no solo al momento de proveer información para la gestión de riesgos sino en la gestión de la información que se genera durante este proceso, con lo cual se aprovecha más eficientemente las herramientas tecnológicas disponibles y que actualmente son usadas específicamente para labores de la administración territorial como es el catastro inmobiliario.

Para cuantificar la importancia de la integración de los riesgos en el catastro, se había incluido una pregunta adicional en la encuesta para conocer el nivel de preparación de los habitantes ante una eventual emergencia por el lahar del Cotopaxi, aplicada a 352 personas. Los encuestados señalaron qué tan importante consideran que el gobierno local les proporcione información de los riesgos a los que están expuestas las propiedades en las que habitan o desarrollan sus actividades, a lo que el 94% de los encuestados respondió como muy importante, ver Tabla 29.

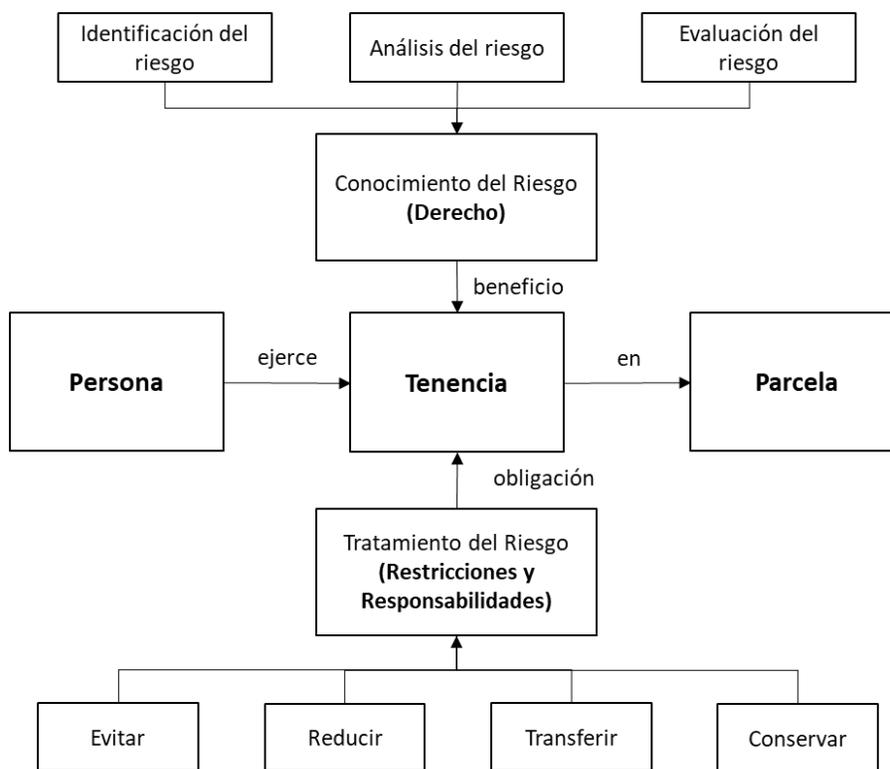
**Tabla 29**

*Tabulación de las respuestas dadas por los encuestados*

<b>Respuesta</b>	<b>Selección (%)</b>
Muy importante	94
Medianamente importante	4
Poco importante	2

### **5.1. Esquema del sistema catastral de riesgos**

El desarrollo de un sistema catastral de riesgos tiene como finalidad el integrar el catastro inmobiliario convencional con la información referente a riesgos naturales que se obtiene tras una adecuada gestión de los riesgos en el territorio. A través de este sistema son registrados los peligros naturales a los cuales se encuentran expuestas las diferentes unidades espaciales, la valoración del riesgo y las acciones a tomar para tratarlo. Esto no solo ayuda a asentar la información generada sobre riesgos, sino que permite ponerla en conocimiento de los interesados, conformados por la ciudadanía, gobiernos locales, gobierno nacional y diferentes organizaciones e instituciones que se encuentran vinculadas ya sea a la administración territorial o la gestión del riesgo, para que puedan aplicar las acciones necesarias y tratar el riesgo. Con esta finalidad se creó un sistema catastral para el área de estudio con la ayuda del software STDM que aplica el modelo conceptual de la LADM descrito en la ISO 19152:2012, donde la gestión de riesgos implica una serie de nuevos derechos, restricciones y responsabilidades (RRR por sus siglas en inglés) sobre el predio y sobre quien ejerce la tenencia del mismo, En la Figura 33 se muestra la clasificación de los derechos, restricciones y responsabilidades dados por la gestión de riesgos acorde al esquema de la LADM.



**Figura 33.** Derechos, restricciones y responsabilidades ligados a la gestión de riesgos

Es necesario indicar que los derechos, restricciones y responsabilidades varían acorde al nivel territorial al cual está dirigido, como puede ser predial, zonal, parroquial, cantonal, distrital, etc., ya que en cada nivel los interesados (personas) que ejercen algún tipo de tenencia sobre la unidad espacial son diferentes y poseen diferentes RRR. En este caso se elaboró el sistema catastral dirigido al nivel predial, debido a que se considera como la unidad territorial óptima para la gestión de riesgos, ya que permite involucrar dentro de ésta a los ciudadanos como principales actores.

## 5.2. Montaje del sistema catastral de riesgos

Luego de establecer la forma en que se integra la gestión de riesgos dentro del catastro acorde al modelo LADM, se detalló la información de riesgos que será ingresada al sistema catastral como

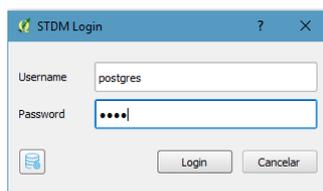
se muestra en la Tabla 30, donde los datos que conforman la ficha catastral de riesgos dependen del área de aplicación (AP) en la que se encuentra el predio.

**Tabla 30**  
*Detalle de la información incluida en la ficha catastral*

Información	Área de aplicación			Clases LADM	
	AP 1	AP 2	AP 3		
<b>Riesgos</b>	<b>Peligro</b>	Lahar			LA_RRR (Derechos)
	<b>Posibilidad</b>	Posible			
	<b>Consecuencias</b>	Catastrófico			
	<b>Nivel de Riesgo</b>	Extremo	Alto		
	<b>Acción requerida</b>	Plan de tratamiento debería ser desarrollado, implementado y evaluado anualmente		Acción inmediata es requerida, la implementación del tratamiento debe ser extensiva y evaluada regularmente	LA_RRR (Restricciones y Responsabilidades)
	<b>Tratamiento</b>	1) Reubicación a zonas seguras	1) No se permiten nuevas construcciones 2) Seguro contra riesgos obligatorio	1) No se permiten construcciones con fines social, cultural o instalaciones críticas 2) Construcciones particulares deben cumplir características dadas por la autoridad 3) Seguro contra riesgos opcional	
<b>Catastro</b>	<b>Ubicación</b>	Clave catastral*			LA_SpatialUnit
		Cantón*			
		Dirección*			
	<b>Tenencia aspectos legales</b>	Régimen de tenencia*			LA_Party
		Propietario*			
<b>Objeto catastral</b>	Predio**			LA_BaUnit	

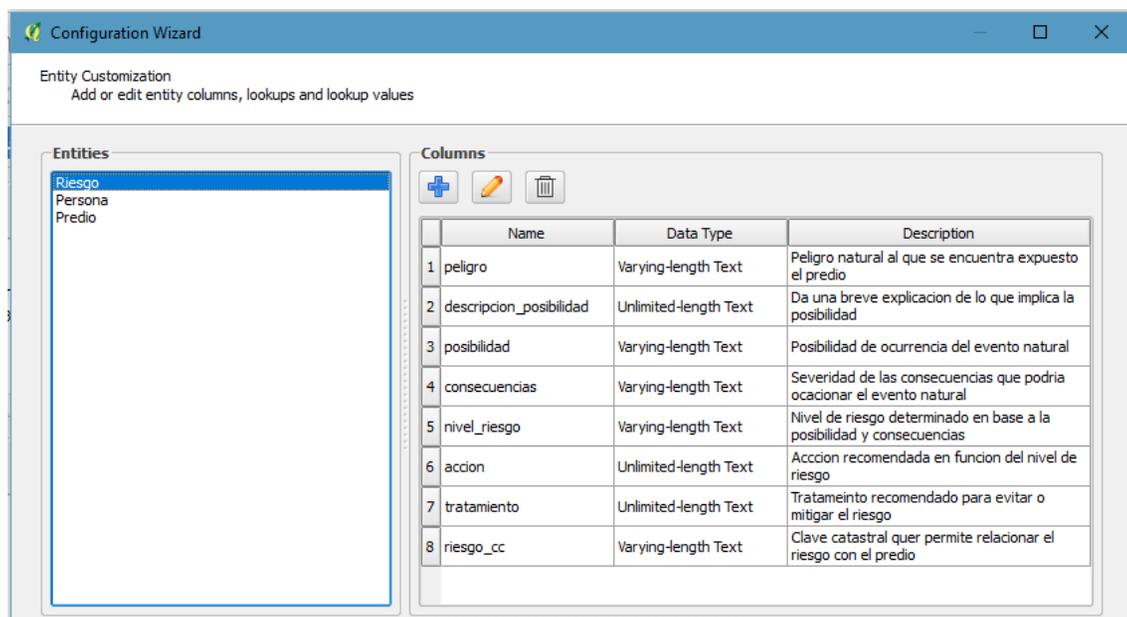
\* El dato cambia según la base catastral inmobiliaria, \*\*Indica la unidad espacial en la que se está trabajando

La ficha catastral; además, de la información de riesgos incluye información acerca del predio y de la persona que tiene la tenencia sobre el mismo como indican las cuatro clases básicas del modelo LADM, cuyos datos son tomados de los catastros inmobiliarios municipales. Datos como la clave catastral sirven de enlace con las otras entidades de la base catastral municipal y los referentes a ubicación y tenencia del predio, ayudan a mejorar la gestión de riesgos. Una vez definida la estructura del sistema catastral y la información que sería ingresada, se procedió a su creación con la ayuda del software STDM. Para ingresar al espacio de se debe ingresar un usuario y clave que corresponden a los de la base de datos PostgreSQL.



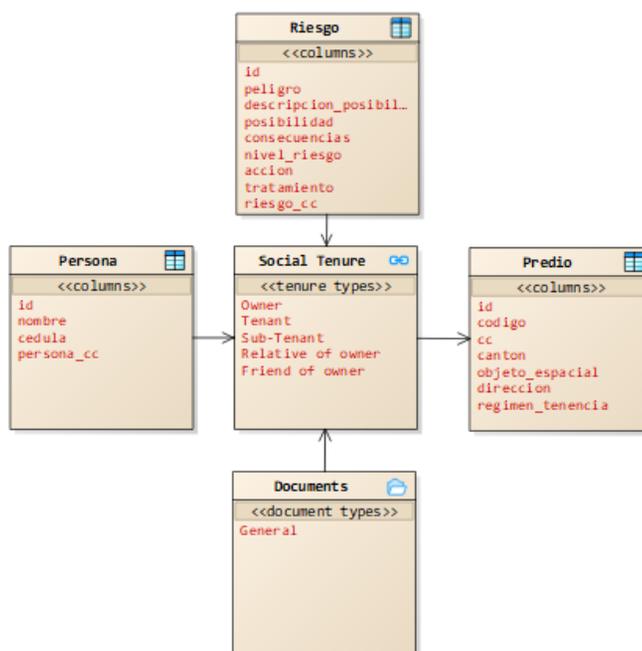
**Figura 34.** Ingreso al espacio de trabajo del STDM

Dentro del espacio de trabajo del STDM, el primer paso es la creación del perfil del catastro que se va a ocupar, con la ayuda de la herramienta “Configuration Wizard”, el perfil contiene a las entidades que conforman el catastro. Las entidades principales son: la de persona, que almacena la información de quien ejerce la tenencia del predio y la entidad de predio como tal, en la cual se almacena la información relacionada al objeto espacial incluyendo su representación gráfica. A estas entidades básicas se agregó la entidad riesgo, en la cual se almacena la información referente a la valoración de riesgos y su tratamiento, por default el programa incluye una entidad adicional llamada documentos, en la cual se puede almacenar todo tipo de documentos de respaldo como informes, fotografías, planos, etc. Al interior de cada entidad se especifican los datos que serán almacenados en la misma (llamados en el programa columnas), como muestra la Figura 35.



**Figura 35.** Configuración de las columnas que contendrá cada entidad

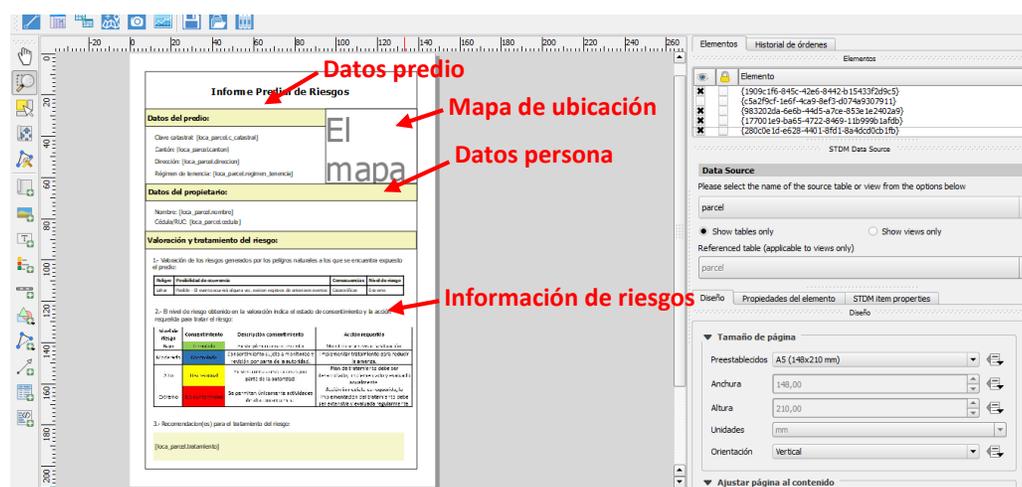
Todas las entidades se encuentran relacionadas entre sí, a través de una relación de tenencia llamada “Social Tenure” como se observa en la Figura 36, que es un esquema que genera el propio programa de cómo se encuentra conformado el perfil del catastro.



**Figura 36.** Esquema del perfil del catastro, muestra las entidades y su relación

Una vez generado el perfil, se ingresan los datos correspondientes a cada entidad, que se manejan como bases de datos individuales. Para cargar los datos correspondientes a persona y riesgo se importó la información desde un archivo .csv creado anteriormente, mientras para la entidad predio se importó la información desde un archivo .shp. Cuando ya se ha ingresado la información al sistema catastral, es necesario crear las relaciones de tenencia entre las diferentes entidades. Una vez realizado este procedimiento se ha concluido con la generación del sistema catastral de riesgos, la información al interior de cada entidad, así como las relaciones pueden ser modificadas en cualquier momento.

Finalmente se elaboró un documento llamado “Informe predial de riesgo”, el cual contiene información referente al predio, su propietario y de la valoración y tratamiento del riesgo. Para esto se utilizó la herramienta “Document Designer” que permite diseñar el formato del documento, como se observa en la Figura 37.



**Figura 37.** Espacio de trabajo para el diseño de documentos

Con el formato del documento ya diseñado los informes prediales de riesgo pueden ser generados automáticamente para cualquiera de los predios y permiten a los propietarios consultar la información de riesgos a los que está expuesta su propiedad, de forma que puedan implementar las acciones necesarias para tratar dichos riesgos. En el Anexo 3 se incluye un ejemplo del informe generado para cada uno de los predios del área de estudio.

## CAPITULO VI

Este último capítulo presenta las conclusiones y recomendaciones que se han alcanzado tras la culminación de este trabajo, relacionadas con las metas establecidas al inicio y también como parte de los resultados obtenidos en cada una de las fases del proyecto que estuvo dirigido a diseñar una metodología para la gestión de riesgos con herramientas de administración territorial y su aplicación piloto en parte de las áreas afectadas por el lahar del volcán Cotopaxi en el valle de Los Chillos.

### 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. Conclusiones

- ✓ El término administración territorial no es de uso común en el Ecuador, éste abarca el marco político, las infraestructuras de información territorial y arreglos locales que tienen como función la tenencia, valoración, uso y desarrollo sustentable del territorio.
- ✓ Uno de los principales elementos en la administración territorial es el catastro, que en el Ecuador es principalmente utilizado para el cobro de impuestos y sobre el cual el COOTAD da plena autonomía a los GADs municipales.
- ✓ Del análisis realizado a los catastros del DMQ, el GADMUR y el recomendado por el MIDUVI en la norma técnica 029 de catastro inmobiliario, en cuatro ítems básicos del catastro como son el tipo de catastro, claves catastrales, objetos catastrales básicos e información de la ficha catastral, se encontró que los tres catastros poseen una codificación diferente para claves catastrales y un significado distinto de lo que representan los objetos catastrales básicos, lo que dificulta la integración de las bases catastrales. Por otro lado,

todos los catastros diferencian el catastro urbano del rural y la información de la ficha catastral es similar, abarcando principalmente datos acerca del estado de tenencia del predio, del terreno y de las construcciones.

- ✓ El GADMUR es la única institución que incluye en su catastro información adicional, como ciertos datos de riesgos y si es patrimonio cultural, mientras el DMQ y MIDUVI únicamente se centran en la parte inmobiliaria.
- ✓ La gestión de riesgos en el Ecuador está principalmente dirigida a la respuesta de emergencias y no tanto a la prevención por lo que no existen procedimientos claros de cómo gestionar los riesgos vinculados a desastres naturales desde el ámbito territorial, pese a que el COOTAD establece a la gestión de riesgos como una de las funciones de los GADs en los diferentes niveles territoriales, de los cuales aquellos con la mayor capacidad para su gestión son los GADs municipales.
- ✓ Se determinó en base a los requerimientos de otras metodologías tomadas como referencia, que la información disponible en los catastros locales con un mayor aporte a la gestión de riesgos, es aquella referente a ubicación, información del predio, topografía, hidrología, imágenes satelitales, uso del suelo e información de transporte.
- ✓ La metodología propuesta, “Metodología para la gestión de riesgos en el territorio” consta de tres elementos principales que son el contexto, el proceso de gestión del riesgo en el territorio y la planificación, y de dos sub elementos transversales referentes a la comunicación y consulta, y el monitoreo y evaluación, los cuales se fundamentan en el proceso para la gestión de riesgos dado en la norma AS/NZS ISO 31000:2009 y aplican herramientas de la administración territorial como son el marco legal y normativo, las

infraestructuras de administración territorial y sobre todo los datos espaciales que éstas proporcionan, especialmente los almacenados en los catastros inmobiliarios.

- ✓ El área de implementación de la metodología abarcó un total de 373,37 ha entre los sectores de San Rafael y La Colina, siguiendo el recorrido del río Pita, donde el área posible de impacto directo del lahar del volcán Cotopaxi corresponde a 239,52 ha con una columna de lahar de hasta los 17,726 m de altura. Dentro del área afectada se tuvo un total de 1159 predios afectados, se levantó información referente a: infraestructura afectada que incluye construcciones, construcciones con servicio social/cultural e instalaciones críticas (bomberos, policía, centros de salud, etc.) a escala 1:1000; además, se cuantificó las pérdidas económicas y en salud y seguridad. La afectación a servicios vitales (agua potable, alcantarillado, electricidad y transporte) fue estimada para el total de la población urbana de los cantones Quito y Rumiñahui.
- ✓ Dentro del área de estudio se definieron 4 zonas de valoración, dependiendo del grado de afectación del lahar y la ubicación de las mismas ya que el área de estudio se localiza entre los cantones Quito y Rumiñahui.
- ✓ Luego del análisis de infraestructuras se determinó que el 100% de las construcciones particulares y de las construcciones con servicios sociales y culturales de las zonas 1 y 2 se encuentran funcionalmente comprometidas, siendo estas áreas las más afectadas por el lahar, para las zonas 3 y 4 si bien el porcentaje de construcciones comprometidas es menor también registran una fuerte afectación.
- ✓ En la encuesta realizada a 352 habitantes de las zonas 1 y 2, se estableció que un 68,10% de la población estaría preparada para una emergencia por el lahar del Cotopaxi. A partir

de este resultado se estimó que habría 596 muertes en la zona 1 y 738 en la zona 2, para las zonas 3 y 4 debido a sus características no se estimó ningún número de muertes.

- ✓ La estimación de costo por muerte, que se refiere a la pérdida económica que representaría el fallecimiento de una persona fue de \$286.377,84 para quienes habitan en Quito y de \$232.834,93 para quienes habitan en Rumiñahui ya que se basa en el valor agregado bruto de cada cantón.
- ✓ La estimación de pérdidas económicas producto del lahar fue estimado en 1,87% y 0,28% del PIB cantonal de Quito para las zonas 1 y 4 respectivamente, y de 74,35% y 6,01% del PIB cantonal de Rumiñahui para las zonas 2 y 3 respectivamente. Lo que refleja que el cantón con mayores pérdidas económicas sería el de Rumiñahui.
- ✓ El principal servicio vital que se vería comprometido por el lahar del Cotopaxi es el del agua potable ya que, en las condiciones actuales de los sistemas de agua potable de ambos municipios, representaría un racionamiento de líquido vital para el 32,79% de la población urbana de Quito y de más del 50% de la población urbana de Rumiñahui, en ambos casos por varios meses.
- ✓ Los servicios vitales correspondientes a alcantarillado, luz eléctrica y transporte se verían principalmente afectados con la suspensión de dichos servicios, en las áreas de impacto del lahar e inter lahar, lo que representa la afectación a un 0,64% de la población urbana de Quito y un 29,16% de la población urbana de Rumiñahui, evidenciando que la principal afectación se daría en el cantón Rumiñahui.

- ✓ Las consecuencias para todas las zonas de valoración serán catastróficas y la probabilidad de ocurrencia del lahar es de nivel 5, es decir, que seguramente ocurrirá en el transcurso de nuestras vidas.
- ✓ El nivel de riesgo para todas las zonas de valoración fue “Extremo” con el correspondiente estado de consentimiento de “No conformidad”, sin embargo, para las zonas de valoración 3 y 4 fue reducido a un nivel de riesgo “Alto” y un estado de consentimiento “Discrecional” debido a las características de estas zonas y para permitir la implementación de las acciones propuestas para el tratamiento del riesgo.
- ✓ Las acciones recomendadas para tratar el riesgo se enmarcaron en evitar, reducir, trasladar o conservar el riesgo según era posible, y se establecieron tres áreas de aplicación, en la primer área que abarca las riberas de los ríos hasta 30 metros de distancia, implica la reubicación de las viviendas para evitar el riesgo por el lahar, en el área de aplicación dos se redujo el riesgo evitando que se realicen nuevas construcciones e indicando que las propiedades deberían estar aseguradas, finalmente en la tercera área de aplicación se propone que las construcciones cumplan ciertas características constructivas para reducir el riesgo y de ser posible también sean aseguradas.
- ✓ Las herramientas de la administración territorial no solo permiten realizar el proceso de gestión de riesgos sino también el manejo adecuado de la información obtenida de este procedimiento lo que permite asentar esta planificación de forma efectiva en el territorio, como se demostró a través de la generación de un sistema catastral basado en el modelo LADM, donde el riesgo determina nuevos derechos, restricciones y responsabilidades en quienes ejercen la tenencia de los predios. Además, los sistemas catastrales permiten poner

en conocimiento de los diferentes usuarios la información referente a riesgos, como se hizo a través de la generación de Informes Prediales de Riesgo. Lo cual es consecuente con la respuesta dada por el 94% de encuestados que consideraron como “muy importante” que su gobierno local les proporcione dicha información.

- ✓ El manejo de la administración territorial al igual que el de la gestión de riesgos está vinculado a los diferentes niveles territoriales, acorde a lo cual son designados los organismos responsables, sin embargo, en la práctica es necesario realizar un trabajo integral, independientemente de las circunscripciones político administrativas.

## **6.2. Recomendaciones**

- ✓ Es necesario empezar a aplicar los conceptos de administración territorial y de sistema de administración territorial a nivel del país ya que de esta forma y con la implementación de normativas como la ISO 19152:2012 se podrá aprovechar el gran potencial que ofrece para alcanzar el desarrollo sustentable en el Ecuador.
- ✓ En los últimos años la gestión de riesgos en el Ecuador ha ido avanzando y desarrollándose, sin embargo, sigue enfocada principalmente a la reacción ante situaciones de emergencia y no tanto a la prevención. Se debe trabajar fuertemente en una planificación territorial que involucre a la gestión de riesgos ya que se ha demostrado a nivel mundial que esta es la mejor práctica en cuanto a disminuir las afectaciones ocasionadas por los desastres naturales.

- ✓ Se debe trabajar con mayor fuerza en la generación de normativa nacional, así como la estandarización de procedimientos en lo referente a manejo de las infraestructuras de información territorial y de la gestión de riesgos.
- ✓ Si bien la autonomía que poseen los GADs municipales en el manejo del catastro se debe mantener, es necesario establecer un marco común que permita la integración en un gran sistema catastral nacional, ya que como se ha visto en el desarrollo del presente trabajo el catastro es una de las más poderosas herramientas que posee la administración territorial y debe ser aplicado más allá de la valoración de bienes inmuebles.
- ✓ Es necesario incentivar el desarrollo y adecuada difusión de estudios acerca de desastres naturales, ya que actualmente la información con la que se cuenta a nivel país es escasa y poco precisa, lo que limita una adecuada gestión de riesgos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera, E., & Toulkeridis, T. (2005). *Prevención de Riesgos Asociados con la Erupción del Volcán Cotopaxi 2004 - 2005*. Quito: Fundación para el Desarrollo Socioambiental FOES.
- AS/NZS ISO. (2009). *AS/NZS ISO 31000:2009, Risk management—Principles and guidelines, 3*. Sidney, Wellington, Australia, Nueva Zelanda: Australian/New Zealand Standard.
- Baas, S., Ramasamy, S., Dey de Pryck, J., & Battista, F. (2008). *Disaster risk management systems analysis, 13*, 90. Roma, Italia: FAO Environment and Natural Resources Service Series.
- Bernabé, et al. (2015). *Gestión de Riesgo en el Ecuador*. Sangolquí: Editorial ESPE.
- Correa, E., Ramírez, F., & Sanahuja, H. (2011, September). *Populations at Risk of Disaster: A Resettlement Guide, XII*, 142. Whashington, E.U.A.: The World Bank.
- El Comercio. (2 de Septiembre de 2015). *El Comercio*. Obtenido de <https://www.elcomercio.com/actualidad/volcancotopaxi-aguapotable-loschillos-prevencion.html>
- El Comercio. (31 de Agosto de 2016). *El Comercio*. Recuperado el 12 de Marzo de 2019, de <https://www.elcomercio.com/actualidad/agua-quito-erupcion-volcan-cotopaxi.html>
- Enemark, S., Williamson, I., & Wallace, J. (2005). *Building Modern Land Administration Systems in Developed Economies. Spatial Science, L(2)*, 51-68.
- EPMAPS. (31 de Octubre de 2017). *iagua*. Recuperado el 12 de Marzo de 2019, de <https://www.iagua.es/noticias/espana-ecuador/epmaps-agua-quito/17/10/30/agua-quito-nos-preparamos-posibles-emergencias>
- Erba, D., & Piumetto, M. (2013). *Catastro Territorial Multifinalitario*. Cambridge, Estados Unidos: Lincoln Institute of Land Policy.

- GADMUR. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento territorial Cantón Rumiñahui 2012 – 2025*. Sangolquí, Ecuador: Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Cantón Rumiñahui.
- GADMUR. (23 de Abril de 2017). *Rumiñahui y su gente*, 8. Sangolquí, Ecuador: Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Rumiñahui.
- GLTN. (2018, October). *STDM 1.7 User Manual*. Nairobi, Kenia: UN-Habitat.
- IPCC. (2014). *Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*, 157. (R. K. Pachauri, & L. Meyer, Edits.) Ginebra, Suiza: IPCC.
- ISO. (2012, December). *Geographic information — Land Administration Domain Model (LADM), 1*. Ginebra, Suiza: International Organization for Standardization.
- Kerr, J., Nathan, S., Van Dissen, R., Webb, P., Brunson, D., & King, A. (2003, July). *Planning for Development of Land on or Close to Active Faults*. Wellington, New Zealand: Ministry for the Environment.
- La Hora. (12 de Octubre de 2015). *La Hora*. Obtenido de <https://lahora.com.ec/noticia/1101873114/el-agua-de-quito-no-serc3a1-afectada-por-el-volcc3a1n-cotopaxi>
- Mitchell, D. (2011). *Assessing and Responding to Land Tenure Issues in Disaster Risk Management: Training Manual*, 3, 114. Roma, Italia: FAO.
- Mitchell, D., Myers, M., & Grant, D. (2014). Land valuation: a key tool for disaster risk management. *Land Tenure Journal*, 1, 36-69.

- Narváez, C. (Agosto de 2007). *Desarrollo de la metodología para el análisis de vulnerabilidad ante una eventual erupción del volcán Cotopaxi*. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional, Escuela de Postgrado en Ingeniería y Ciencias.
- OEA. (1991). *Desastres, Planificación y Desarrollo: Manejo de Amenazas Naturales para Reducir los Daños*. Washington, E.U.A.: Organización de los Estados Americanos.
- ONU. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*, 40. Washington, E.U.A.: Naciones Unidas.
- Padilla, O. (Mayo de 2017). *Cálculo de los tiempos de evacuación horizontal y vertical en caso de una eventual erupción del volcán Cotopaxi*. Alcalá de Henares, Madrid, España: Universidad de Alcalá; Departamento de Geología, Geografía y Medio Ambiente.
- Peña, M. (Junio de 2016). *Análisis de Vulnerabilidad y Mitigación de Riesgos Estructurales en las Infraestructuras de Abastecimiento de Agua, en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), en caso de erupción del Volcán Cotopaxi (Ecuador)*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Civil.
- Potts, K. E. (2013, October). *Using land administration for land risk management*. Melbourne, Victoria, Australia: The University of Melbourne.
- Rebotier, J. (2016). *El riesgo y su gestión en Ecuador: Una mirada de geografía social y política* (Primera ed.). Quito: Centro de Publicaciones PUCE.
- Rodriguez, F., Toulkeridis, T., Sandoval, W., Padilla, O., & Mato, F. (2016). *Economic risk assessment of Cotopaxi volcano, Ecuador, in case of a future lahar emplacement*. *Natural Hazards*, 605-618.

- Rojas, R. (Junio de 2013). *Metodología para incorporar Cambio Climático y Gestión del Riesgo de Desastres en procesos de OT, VIII*, 184. Perú: GIZ GmbH–Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit.
- Salazar, R., Miranda, D., & Urbano, F. (2017). *Management of Natural Risks and Disasters in a River Basin Within the New Cadastre Concept. Cadastre: Geo-Information Innovations in Land Administration*, 47-54.
- Saunders, W., & Kilvington, M. (2016). *Innovative land use planning for natural hazard risk reduction: A consequence-driven approach from New Zealand. International Journal of Disaster Risk Reduction*(18), 244-255.
- Saunders, W., Beban, J., & Kilvington, M. (2013). *Risk-based land use planning for natural hazard risk reduction*(67), 97. Lower Hutt, Nueva Zelanda: Institute of Geological and Nuclear Sciences Limited.
- SENPLADES. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021*. Quito, Ecuador: Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, Senplades.
- Tibanlombo, J., & Villacís, A. (Febrero de 2013). *Aplicación y sistematización de la propuesta metodológica para el análisis de vulnerabilidad de la parroquia Sangolquí, del cantón Rumiñahui*. Sangolquí, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente.
- Tjia, D., & Coetzee, S. (2013, June). *Application of the Land Administration Domain Model to the City of Johannesburg Land Information System. South African Journal of Geomatics, II*(3), 260-279.

- UNISDR. (2017). *Plataforma Global 2017 para la Reducción del Riesgo de Desastres. Memoria* (pág. 107). Cancún: Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres.
- UNISDR AM. (2016). *Impacto de los desastres en América Latina y El Caribe, 1990 – 2013*, 72. Panamá, Panamá: United Nations Office for Disaster Risk Reduction – Regional Office for the Americas (UNISDR AM).
- Vargas, D., & Ramírez, F. (2009). *Incorporando la Gestión del Riesgo de Desastres en la Planificación y Gestión Territorial*, 104. Lima, Perú: Proyecto Apoyo a la Prevención de Desastres en la Comunidad Andina - PREDECAN.